

---

# レジリエンス強化に資する住宅インフラ分野における マルチマテリアル技術の最新動向調査

---

2022年 3月 28日



株式会社 工業市場研究所  
INDUSTRIAL MARKETING CONSULTANTS CO., LTD.

項目	ページ
調査概要	2
I. 文献調査	5
サマリー	6
1. 木質ハイブリッド構造による中層共同住宅	10
2. 1時間の耐火性能を有する木工梁の開発	27
3. 耐火木造部材の荷重支持部の木材密度が耐火性能に与える影響	34
4. CLT 耐震パネルを組み込んだ鉄骨ハイブリッド構造の設計事例と抽出された課題	49
5. 木材の曲げ性能を鋼板の補剛に活用した制振部材の開発と実建物への適用	58
6. 炭素繊維強化プラスチックで補強した集成材 (AFRW) の補強材料配置の影響	64
7. RETROFITTING HIGH-RISE STRUCTURES USING FRP COMPOSITE MATERIAL	70
8. Seismic upgrading of existing reinforced concrete buildings	80
9. AISC Steel & Timber Research for High-Rise Residential Buildings	93
10. The Hybrid CLT-Steel Residence Hall	100
11. Brock Commons Tallwood House : A CASE STUDY	105
II. ヒアリング調査	113
1. 竹中工務店	114
2. 清水建設	122
III. その他関連情報	125
1. 海外の木造建築推進関連の法律・規制	126
2. 各国のBIMの普及状況	129
3. 材料メーカー	134
4. 建築基準法	139

## 【調査目的】

現在日本では、2050年時に二酸化炭素排出を実質ゼロとするカーボンニュートラルにむけた省エネ・脱炭素化とともに、頻発する地震や水害に強い住宅・都市建築物、社会インフラの構築整備、即ち国土強靱化が喫緊の課題として顕在化しており、取り組みが急がれている。

二つの課題に同時対処する方法として有望視しているのは、製造過程や再利用時における省エネ化・脱炭素化とともに、安全・安心、快適な住空間を確保しつつ、自然災害等の脅威に対するレジリエンスの強化を可能とする、異種材料を接着・接合した「マルチマテリアル」部材を住宅インフラ分野へ適用することである。土木・建築分野、住宅・建材分野、部素材の革新とともに、これまでの技術の見直しと新しい工法、新しい材料の早期実用化を促すものであり、特に、住宅・インフラに適用されている部材等の健全性評価、メンテナンス、信頼性強化に対する見える化や数値化、製品の開発・製造におけるデータ活用は、IT・デジタル技術の革新をうけて飛躍的に進歩する可能性があると考えられる。

従来型個別材料の開発においては、マテリアルズ・インフォマティクス(MI)を用いたデータ駆動型研究において、新材料の効率的な開発などの成果が報告され始めている。さらに、目的とする性能から構造・特性を提案し、それを実現するための最適な材料やプロセスを出力する逆問題MIシステムの開発など、今後のMIの普及拡大につながる様々な取り組みが行われている。他方で、複雑化する材料要求に対応するため、個別材料特性の向上と共に、異種材料を適材適所に組み合わせるマルチマテリアル化も必須の技術として、モビリティ分野での開発・実用化が進みつつあるが、住宅インフラ分野への適用は正にこれからである。

本調査では、上述の背景をうけて、マルチマテリアル化技術の住宅インフラ分野への適用拡大と早期実用化という観点から、①傾斜機能部材や異種材料を接合して構成されるマルチマテリアル構造材の具体的な開発状況、それら構造材に対して②ビルディングインフォメーションモデリング(BIM)などの住宅設計・施工デジタルトランスフォーメーション(DX)ツールの開発管理(協調・競争的)状況、③劣化診断などの先端計測技術の最新動向を把握・整理し、住宅インフラ部材のマルチマテリアル化に伴って求められるDXツール、サービスについての課題を抽出することを目的とする。

## 【調査内容】

### (1) 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

以下の観点について、重点的に調査すること。

- ・接着・接合など、マルチマテリアル化技術の最新動向
- ・住宅インフラ分野においてマルチマテリアル化が望まれる具体的状況
- ・住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル利用例
- ・機能傾斜部材 (FGM functionally graded materials) や異種材料を接合して構成される建築資材・構造材の例やイメージ化

### (2) 上記部素材技術に対するDX検討状況と課題

- ・設計から製造加工まで一気通貫にすることを目指したDXの例
  - ・住宅インフラ分野におけるマテリアルズ・インフォマティクス (MI) やプロセス・インフォマティクス (PI) の適用状況
  - ・住宅インフラ用DXツールの利用状況 (DXツールの利点や課題の認識状況、利用を妨げる要因など)
  - ・災害時等からの再建を早期に図ることを目的とした、住宅インフラ部素材における劣化診断などの先端計測技術や共通仕様化 (CADデータ統一設計・規格化) 等の可能性に関する見解把握

### (3) 上記部素材技術に対するLCA、資源循環性の検討状況と脱炭素化への課題

- ・マルチマテリアルのリサイクル状況 (部材毎のリサイクル率およびリサイクル先、現状の課題についての認識状況と課題解決に向けた取り組み)
- ・LCAを考慮したマルチマテリアル化技術とDXの適用状況と課題

## 【調査手法】

### ①文献(論文・特許)調査

政府関係資料、論文、企業等技術レポートを中心に行い、特許調査は補足的(政府関係資料、論文、企業等技術レポートだけでは不足した場合)を行うこと。

ア. 国内外で報告されている文献を対象に調査を行い、海外における複数の文献を必ず対象に含めること。

イ. 対象とする文献の執筆者の所属する団体(企業、企業グループ、大学、研究機関等)が特定の団体に偏らないよう、幅広く対象とすること。

ウ. 調査時点で最新の文献を対象とすること。

エ. 文献による調査においては、10編程度の文献(論文)を対象に調査を行うこと。

尚、次項記載の現地調査をともなう場合、7編程度を対象に調査を行うこと。

### ②ヒアリング等調査

①の文献調査に基づき、国内外の大学、研究機関等へのヒアリング、アンケートを2名程度に実施すること。

# I. 文献調査

論文タイトル	木質ハイブリッド構造による中層共同住宅	1時間の耐火性能を有する木工梁の開発	耐火木造部材の荷重支持部の木材密度が耐火性能に与える影響
文献名	日本建築総合試験所GBRC Vol.46 No2 2021.4	清水建設研究報告 第98号	日本建築学会技術報告集 第21巻 第47号, 151-156
発行時期	2021年4月	2020年12月	2015年2月
著者所属組織	清水建設	清水建設	竹中工務店 ベターリビング 東京理科大学理工学部建築学科 日本住宅・木材技術センター 齋藤木材工業
マルチマテリアル使用建築物	共同住宅(社宅)	社屋	共同住宅 社員寮 オフィスビル 商業施設 教育施設 研修センター
マルチマテリアル使用部位	柱・梁の接合部 柱・梁、壁、床	天井梁	柱・梁
マルチマテリアル使用材料	柱・梁の接合部:木材+プレキャストコンクリート+ガセットプレート(鉄) 柱・梁:木材+耐火シート+強化石膏ボード 壁:木材(壁)+RC(フレーム) 床:木材CLT+RC	木材+H形鋼	荷重支持部(木材)+燃え止まり層(石膏orモルタル、木材)+燃え代層(木材)
マルチマテリアル接合方法	柱・梁の接合部:コンクリート、プレート 柱・梁:木材と石膏ボード(釘、ビス) 壁:ボルト 床:ボルト	接着剤+ボルト	木材と石膏(釘、ネジ) レゾルシノール・フェノール樹脂接着剤(木材同士の接着)

論文タイトル	CLT 耐震パネルを組み込んだ鉄骨ハイブリッド構造の設計事例と抽出された課題	木材の曲げ性能を鋼板の補剛に活用した制振部材の開発と実建物への適用	炭素繊維強化プラスチックで補強した集成材 (AFRW) の補強材料配置の影響
出展	日本建築総合試験所GBRC Vol.46 No2 2021.4	日本建築学会技術報告集 第26巻 第64号, 905-910	木材学会誌 Vol. 65, No. 3, p. 148-157 (2019)
発行時期	2020年10月	2020年10月	2019年
著者所属組織	竹中工務店 京都大学生存圏研究所 早稲田大学理工学術院総合研究所	日建設計 東京大学大学院農学生命科学研究科	帝人 高知大学
マルチマテリアル使用建築物	社員寮 オフィスビル 共同住宅 研修センター	オフィスビル	モデルハウス
マルチマテリアル使用部位	耐震壁(壁+鉄骨フレーム)	柱(制振間柱)	天井梁
マルチマテリアル使用材料	木材(壁)+鉄骨(フレーム)	木材+H形鋼	木材+CFRP(炭素繊維強化プラスチック)
マルチマテリアル接合方法	モルタル	ボルト	イソシアネート系接着剤

論文タイトル	RETROFITTING HIGH-RISE STRUCTURES USING FRP COMPOSITE MATERIAL	Seismic upgrading of existing reinforced concrete buildings	AISC Steel & Timber Research for High-Rise Residential Buildings
出展	The International Concrete Repair Institute (ICRI)	Engineering Structures Volume 240	American Institute of Steel Construction
発行時期	2015年	2021年8月	2017年12月
著者所属組織	Sika Coporation	University of Patras, Greece European Commission, Joint Research Centre (ISPRA), Italy	American Institute of Steel Construction(ASIC) Skidmore, Owings, and Merrill, LLP (SOM)
マルチマテリアル使用建築物	<米国> 官庁ビルの改修 オフィスビルの耐風、耐震補強 マンションのリフォーム補強	<グローバル> 鉄筋コンクリート建物	<米国> 9階建て高層住宅 (実際に建築されたものではなく、ベンチマークビルを利用して実現可能性を検討)
マルチマテリアル使用部位	梁 スラブ(床)	梁、柱、壁、床、結合部位	床
マルチマテリアル使用材料	鉄筋コンクリート+CFRP	鉄筋コンクリート+モルタル(繊維強化モルタル)ジャケット 鉄筋コンクリート+鋼ジャケット 鉄筋コンクリート+FRP 鉄筋コンクリート+TRM(テキスタイル強化モルタル)	木材(CLT)+コンクリート
マルチマテリアル接合方法	エポキシ樹脂	モルタル ボルト エポキシ樹脂	コンクリート接着

論文タイトル	The Hybrid CLT-Steel Residence Hall	Brock Commons Tallwood House : A CASE STUDY
出展	Structuremag	THE CANADIAN WOOD COUNCIL
発行時期	2019年8月	N/A
著者所属組織	Odeh Engineers	THE CANADIAN WOOD COUNCIL
マルチマテリアル使用建築物	<米国> 6階建ての学生寮	<カナダ> 18階建ての学生寮
マルチマテリアル使用部位	床	床、柱、柱・床の接合部
マルチマテリアル使用材料	木材 (CLT)+防音マット+コンクリート	床:木材+コンクリート+石膏ボード 柱:木材+石膏ボード 柱、床の接合部:木材、コンクリート+金属部品、ボルト
マルチマテリアル接合方法	CLTと鉄骨の接合:木ネジ	柱と柱、柱と床:金属部品及びボルト

# 1. 木質ハイブリッド構造による中層共同住宅

論文タイトル	木質ハイブリッド構造による中層共同住宅
URL	<a href="https://www.gbrc.or.jp/assets/documents/gbrc/GBRC184_889.pdf">https://www.gbrc.or.jp/assets/documents/gbrc/GBRC184_889.pdf</a>
出展	日本建築総合試験所GBRC Vol.46 No2 2021.4
発行時期	2021年4月
著者	佐々木 喜啓、長澤 怜、水落 秀木、南口 真一、広田 正之、瀬田 匡、中島 忠大
所属組織	清水建設(株) 名古屋支店 建築設計部、構造設計部、建築部 設計本部 木質建築推進部、設計技術部 技術研究所 防耐火グループ 生産技術本部 生産計画技術部
組織の概要	清水建設は東京都中央区に本社を置く、大手総合建設会社である。 2020年度の売上:(連結)1兆6982億9200万円、(単独)1兆4176億400万円 従業員数:(連結)16,586人、(単独)10,494人

## 文献概要

- ・ 名古屋市住宅街にある自社社宅の建替計画において、森林資源の積極的な活用や地球環境負荷の低減を図るとともに、中層共同住宅に求められる耐震性・耐火性・居住性をより合理的に実現する木質構造と鉄筋コンクリート造(以下、RC造)のベストミックスとなる木質ハイブリッド構造を目指した。
- ・ 建物は「木に包まれ、人をはぐくむ、安全で安心な住まい」をコンセプトとし、木造化・木質化によってその実現を図っている。同社が中大規模の耐火建築物を対象に技術開発したハイブリッド木質構法「シミズ ハイウッド」及び木質耐火部材「スリム耐火ウッド」を初適用し、内装・外装にも木材を積極的に利用した。

# 1. 木質ハイブリッド構造による中層共同住宅

## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (1) 使用用途

建築物種類	中層共同住宅
使用部位	木柱・木梁の接合部:『PCa接合部材』 木質耐火構造部材(柱、梁):『スリム耐火ウッド』 壁:CLT耐震壁 床:『RC-CLT合成床版』

- 2018年12月に着工、2020年7月に竣工した地下1階を柱頭免震構造とした地下1階・地上4階、延床面積約3,200m<sup>2</sup>の建築物(自社社宅)の『木柱・木梁の接合部』、『木質耐火構造部材(柱、梁)』、『耐震壁』、『床(一部)』にマルチマテリアルを使用している。

<建物外観>



<断面図>



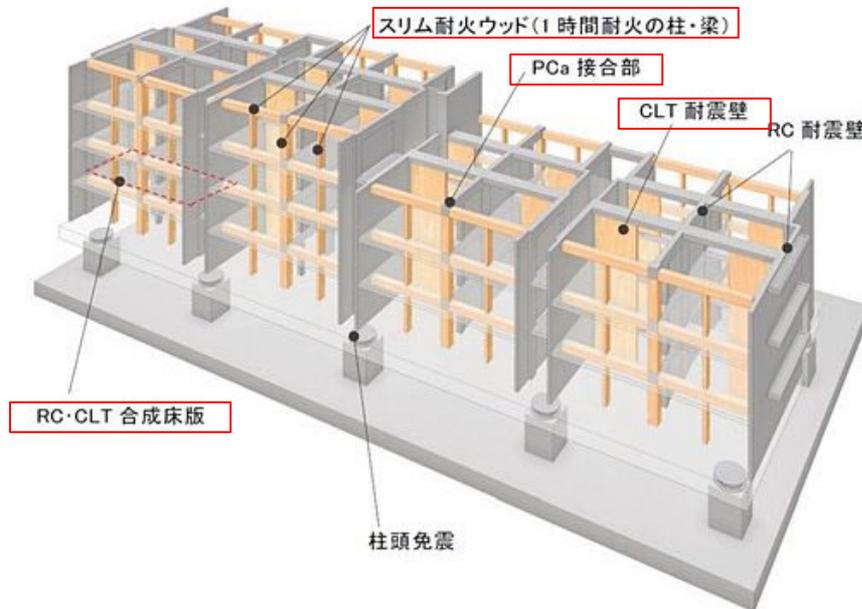
# 1. 木質ハイブリッド構造による中層共同住宅

## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (1) 使用用途

- 基本的な構造は、地下1階の柱頭部に設けた11基の免震装置上に、幅50.5m、奥行き17.0m、厚さ90cmの人工地盤を築き、その上に4階建ての建物を載せる架構。このうち、木質構造部は、建物長辺方向の外周に位置する梁56体と柱28体、間柱56体、各住戸内に原則2体ずつ配置する耐震壁57体からなる。
- 柱、梁には、木材、耐火シート、強化石膏ボードを組み合わせた『スリム耐火ウッド』を使用している。
- 柱・梁の接合部には、シミズ ハイウッドの核となる耐震性、耐火性、施工性に優れた『プレキャストコンクリートの接合部材(PCa接合部材)』を用いて一体化している。
- 耐震壁には、RC造の柱・梁フレームの中にCLT(Cross Laminated Timber: 直交集成板)を組み込んでいる。
- 床の一部に、RC-CLT合成床版を使用している。

#### <構造概念図>



# 1. 木質ハイブリッド構造による中層共同住宅

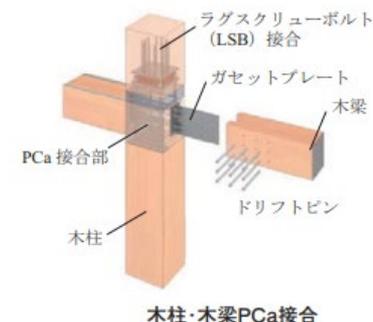
## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (2) 使用材料と使用要因

#### ① 木柱・木梁の接合部 (Pca接合部材)

部位	木柱・木梁の接合部
使用材料	木材+プレキャストコンクリート+ガセットプレート(鉄)

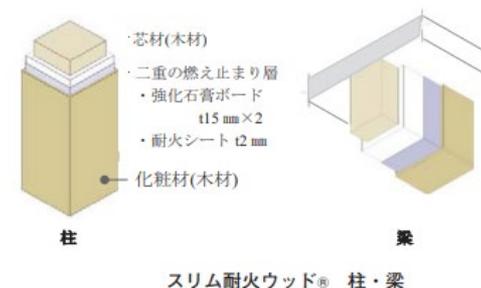
- 木柱・木梁の接合部には、木質構造部材の弱点となる繊維直交方向のめり込みによる剛性低下を回避するため、PCa(プレキャストコンクリート)接合部を開発、採用している。
- 柱・梁接合部の剛性を高めることによって、建物の中高層化、大規模化を可能とし、耐震性に優れた木質架構を実現している。
- PCa接合部と木柱とはラグスクリューボルト(LSB)で接合し、木梁とはガセットプレートとドリフトピンで接合する。



#### ② 木質耐火構造部材 (スリム耐火ウッド)

部位	柱・梁
使用材料	木材+耐火シート(ポリリン酸塩混入合成樹脂)+強化石膏ボード

- 本建物は、地上4階の集合住宅であることから、耐火建築物(1時間耐火構造)とすることが求められる。木造化する柱・梁には、国土交通大臣認定を取得した『スリム耐火ウッド』を初適用した。
- 『スリム耐火ウッド』は、構造上の荷重を支持する芯材の周囲に耐火シートと強化石膏ボードの異種材料を組み合わせ、二重の燃え止まり層を形成していることを特徴としている。



# 1. 木質ハイブリッド構造による中層共同住宅

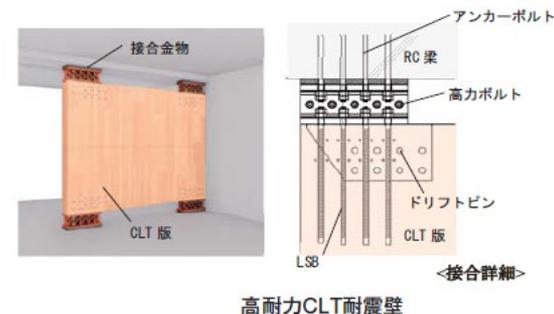
## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (2) 使用材料と使用要因

#### ③ CLT耐震壁

部位	耐震壁
使用材料	CLT+RC柱・梁

- CLT耐震壁は、建物各階中央部を長辺方向に走るRC造の柱・梁フレームの中に組み込み、建物の長辺方向に作用する地震力の最大60%程度を負担するとともに、間仕切り兼仕上材としても機能している。
- CLT耐震壁には鉛直荷重を負担させない計画とし、木材現しとしている。



#### ④ RC-CLT合床材版

部位	床(一部)
使用材料	CLT+RC

- CLTパネルを型枠として利用し、その上部にRCスラブを打設した合成床版としている。
- 主要構造部の床としての鉛直荷重支持性能・層間区画性能(耐火性能等)は、RCスラブで確保する。
- 天井面のCLTパネルは、RCスラブの振動性能・遮音性能を補う部材であるため、その耐火被覆は不要であり、そのまま木材現しの仕上げ材にもなり、木質感が増す。また、RCスラブのみと比較すると軽量化できる。



# 1. 木質ハイブリッド構造による中層共同住宅

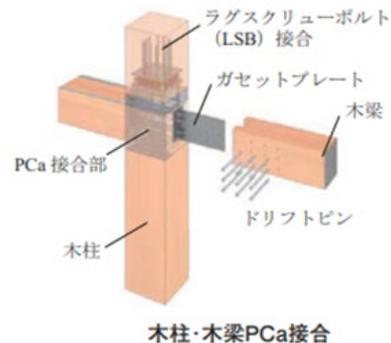
## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (3) 技術の概要

#### ① 木柱・木梁の接合部(PCa接合部材)

- 清水建設では、2017年に木質構造を採用した中大規模の耐火建築の実現に向け、自由な木質空間の提供が可能な架構として、木質構造と鉄骨(S)造、鉄筋コンクリート(RC)造の合理的な組み合わせを可能にしたハイブリッド木質構法「シミズ ハイウッド」を開発している。
- 2010年(平成22年)に施工された『公共建築物等の木材利用促進法』や建築基準法の改正による木造規制の緩和などにより、中高層や大スパンの中大規模の耐火建築への木質構造の適用が活発になっている。
- 木質構造を採用する場合の設計上の課題は、異なる構造の柱・梁の接合部に十分な剛性、つまり耐震性を確保し、かつ容易な接合方法にすること、さらには火災時に木質柱への熱伝導・延焼を抑制することがあげられる。シミズ ハイウッドでは、プレキャストのRC接合部材を介して、木質構造とRC造、あるいはS造といった異なる構造の柱同士や柱・梁を接合・一体化することで、これらの課題をクリアしている。
- RC接合部材には柱・梁の構造に適した連結用仕口を設けている。本件では、PCa接合部と木柱とはラグスクリューボルト(LSB)で接合し、木梁とはガセットプレートとドリフトピンで接合している。工場で製作した木質部材とプレキャスト接合部を現場にて組み立てる方式で、RC造やS造の施工手順にも対応可能な接合形式である。

#### <接合部概念図>



(出所: 清水建設ニュースリリース、<https://www.shimz.co.jp/company/about/news-release/2017/2017006.html>)

# 1. 木質ハイブリッド構造による中層共同住宅

## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (3) 技術の概要

#### ②スリム耐火ウッド(柱・梁)

- 本建物は、地上4階の集合住宅であることから、耐火建築物(1時間耐火構造)とすることが求められる。柱、梁には、木材、耐火シート、強化石膏ボードを組み合わせた『スリム耐火ウッド』を使用している。
- スリム耐火ウッドは、清水建設と菊水化学工業が共同開発した木材を用いた耐火構造部材である。一般的な耐火木質柱・梁は、部材表面の「燃えしろ層(化粧材)」と呼ばれる木材部、「燃え止まり層」と呼ばれる耐火材料部、「芯材」と呼ばれる建物の荷重を支える木材部で構成される。燃えしろ層による燃焼を遅らせる効果、燃え止まり層による芯材への燃焼防止効果により、芯材を炎と熱から遮蔽する仕組みになっている。
- スリム耐火ウッドの特徴は、燃え止まり層を耐火シートと強化石膏ボードの異種材料を組み合わせ、二重の燃え止まり層を形成することである。火災時の加熱により薄い耐火シートが発泡する断熱効果と強化石膏ボードによる吸熱・断熱効果、さらには耐火材料の弱点となるジョイント(目地)の位置を二重の燃え止まり層間ですらすることにより、燃え止まり層の耐火性能を高めている。
- 耐火シートには、ポリリン酸塩混入合成樹脂を使用しており、木材と耐火シート、石膏ボードの貼り合わせには、釘やビスが使用されている。
- この結果、単一の耐火材料による一重の燃え止まり層で耐火性能を確保する他社開発の1時間耐火の木質柱に比べ、燃え止まり層及び燃えしろ層の厚さを最大で半分程度にでき、スリムな耐火木質部材を実現している。燃え止まり層を薄くすることにより、コストが同等以下となる見込みであり、かつ建物の有効空間が広がる。また、燃え止まり層及び燃えしろ層の単位重量が2~4割程度軽くなるので、耐火木質部材の工場での生産性や現場での施工性が向上する。
- さらに、屋外仕様として、木外装(化粧材)の内側に防水層を形成する屋外仕様のスリム耐火ウッド柱を開発している。

(出所: 清水建設ニュースリリース、<https://www.shimz.co.jp/company/about/news-release/2017/2017006.html>)

加熱発泡材を組み込んだ耐火木質部材・接合部の性能確認と適用、[https://www.jstage.jst.go.jp/article/aijt/27/65/27\\_265/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/aijt/27/65/27_265/_pdf)  
特開2020-101021)

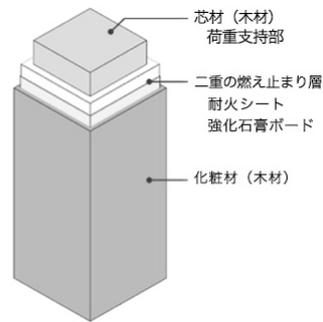
# 1. 木質ハイブリッド構造による中層共同住宅

## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

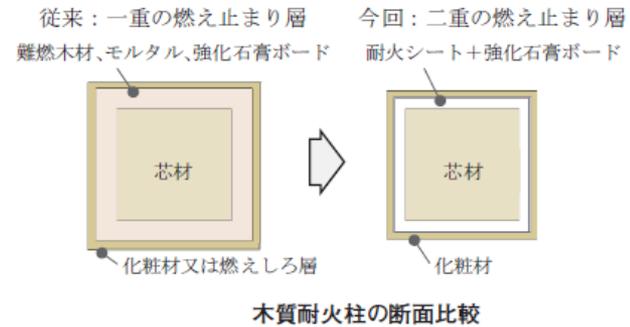
### (3) 技術の概要

#### ②スリム耐火ウッド(柱・梁)

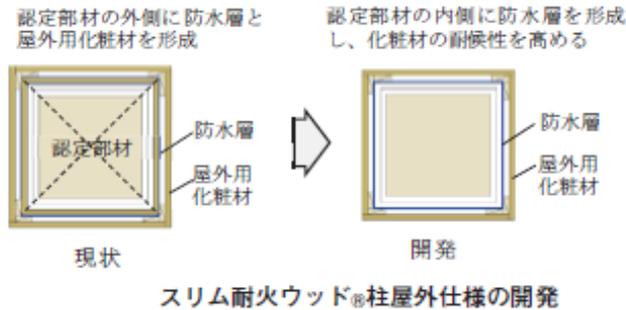
##### <スリム耐火ウッド概念図>



##### <スリム耐火ウッドの断面図>



##### <屋外仕様のスリム耐火ウッド>



# 1. 木質ハイブリッド構造による中層共同住宅

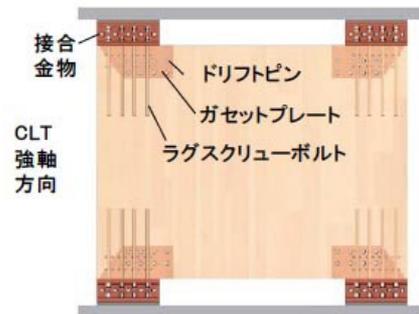
## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (3) 技術の概要

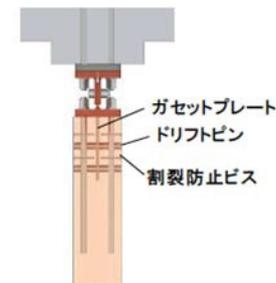
#### ③ CLT耐震壁

- CLTの接合部を四隅に集約し、金物を介してRC梁に取りつける構成で、取り外すこともできる。ドリフトピンとLSB(ラブスクリューボルト)を併用する接合部は、すべりや、めり込みによる変形が抑えられ、CLTが持つ剛性を有効に発揮できる強度の高い耐震壁を実現している。

<CLT耐震壁の接合部>



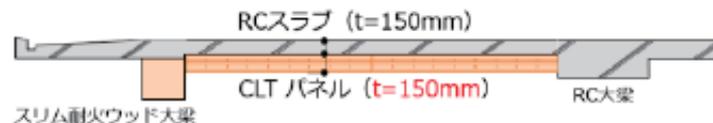
<詳細断面図>



(出所: <https://www.shimz.co.jp/company/about/news-release/2019/2018044.html>)

#### ④ RC-CLT合床材版

- CLTパネルを型枠として利用し、その上部にRCスラブを打設した合成床版としている。
- 施工性にも配慮して、版厚 $t=300\text{mm}$ (RC $150\text{mm}+\text{CLT}150\text{mm}$ )、シアキーはラグスクリューボルト $16\phi-\text{@}200\text{X}600\sim\text{@}400\text{X}600$ を採用した。



RC-CLT合成床版

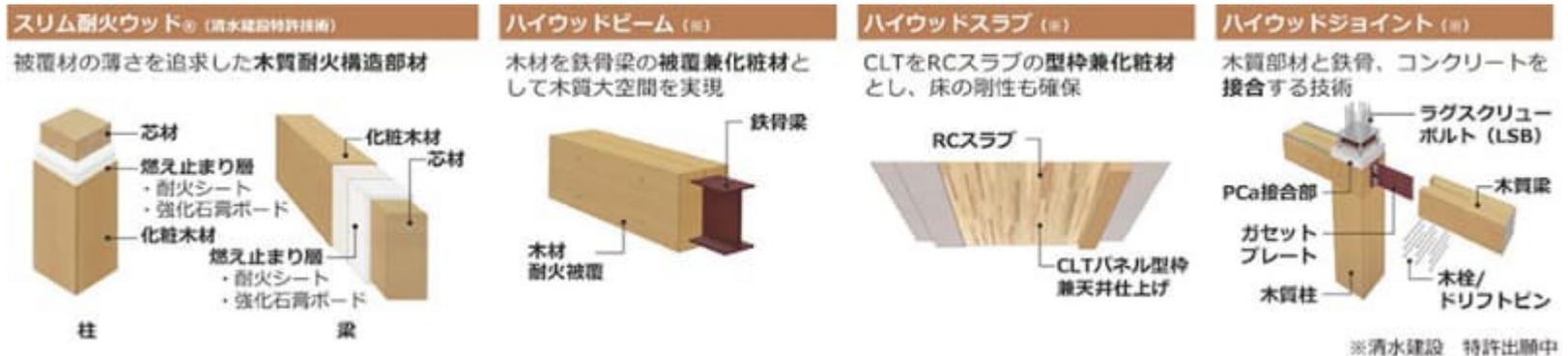
# 1. 木質ハイブリッド構造による中層共同住宅

## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (3) 技術の概要

#### <シミズハイウッズの採用計画>

- 清水建設では、東京都中央区京橋において、地上12階・高さ約56mの、木造ハイブリッド構造の賃貸オフィスビルの新築計画の検討に着手している。
- 主要な構造材に清水建設が開発した木材と鉄骨、コンクリートをニーズに応じて適材適所に組み合わせる「シミズハイウッズ」を採用。中高層ビルとして最大級となる1,000m<sup>3</sup>程度の木材を使用し、建設時のCO<sub>2</sub>排出量を、同規模の鉄骨造の賃貸オフィスビルとの比較で20%以上削減することを目指す。
- シミズハイウッズを構成する要素技術は「スリム耐火ウッド」、「ハイウッドビーム・スラブ」、「ハイウッドジョイント」である。



(出所: <https://www.watch.impress.co.jp/docs/news/1332205.html>)

# 1. 木質ハイブリッド構造による中層共同住宅

## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (3) 技術の概要

＜大手ゼネコンの耐火木材の開発状況＞

- 建築物における木材利用の促進に向け、大手ゼネコンが、火災に強い木質材料である耐火集成材の開発、適用を進めている。二酸化炭素(CO2)の排出削減や国内林業の活性化、木質素材にこだわる建築ニーズを背景に、技術開発を行っている。
- 耐火集成材は通常の木材と比べ、燃えにくい構造を持ち、木の質感を生かせるのが特徴であるが、価格が割高なのが難点である。普及・拡大に向け、コスト低減に取り組んでいる。
- 竹中工務店は、耐火集成材「燃エンウッド」を開発しており、2020年6月時点で17件の適用実績がある。燃え止まり層に木とモルタルを交互に配置し、モルタルで熱を吸収しながら燃焼を停止させる。
- 清水建設は、菊水化学工業と耐火集成材「スリム耐火ウッド」を開発している。燃え止まり層は、耐火シートと強化石膏ボードを組み合わせた二重構造で耐火性能を向上。他社製と比べ、燃え止まり層と燃えしろ層の厚さを最大で半分程度にできる。
- 鹿島は、東京農工大学など4者で開発した耐火集成材「FRウッド」の適用を進めている。燃え止まり層にも木材を採用したことで、木材利用100%であるのが特徴である。燃え止まり層に難燃薬剤を注入して、1時間の耐火性能を確保している。適用実績は3件ある。
- 大林組は、シェルター(山形市)の技術協力を得て、汎用木材を使った2時間の耐火機能を持つ耐火集成材「オメガウッド(耐火)」を開発している。単板の積層材を複数接着する木質材に比べ、約60%のコストを削減できる。

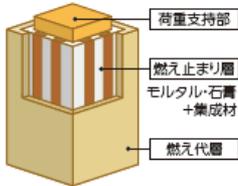
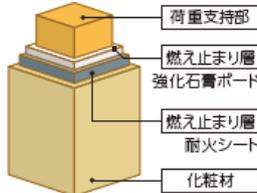
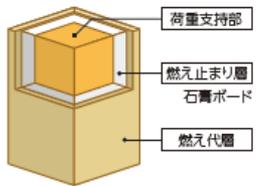
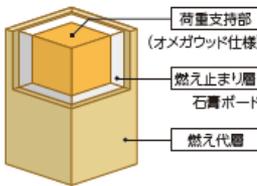
(出所: <https://newsswitch.jp/p/16008>)

# 1. 木質ハイブリッド構造による中層共同住宅

## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (3) 技術の概要

＜大手ゼネコンの耐火木材の開発状況＞

燃え止まり層の材料	木材と無機材料	無機材料	無機材料	無機材料	
商品名 ※同一部材でも商品名が異なる場合は「商品名【企業名】」と表記	燃エンウッド®	スリム耐火ウッド®	COOL WOOD®	オメガウッド (耐火)	
認定取得者	(株)竹中工務店	清水建設(株)	(株)シェルター	(株)大林組	
認定内容	1時間耐火 柱 梁 2時間耐火 柱 梁	1時間耐火 柱 梁 2時間耐火 柱* * 梁は2020年認定取得予定	1時間耐火 柱 梁 2時間耐火 柱 梁 3時間耐火 柱 梁	1時間耐火 柱 梁 2時間耐火 柱 梁 3時間耐火 柱 梁	
概要	燃え止まり型耐火集成材	強化石膏ボード・耐火シート被覆	石膏ボードの上に化粧板仕上げ	石膏ボードの上に化粧板仕上げ	
形状(柱)					
荷重支持部表面から表面までの厚み	1時間耐火：85mm 2時間耐火：105mm	1時間耐火：32mm+化粧材厚 2時間耐火：55mm+化粧材厚	1時間耐火：42mm+表面材厚 2時間耐火：63mm+表面材厚 3時間耐火：84mm+表面材厚	1時間耐火：42mm+表面材厚 2時間耐火：63mm+表面材厚 3時間耐火：84mm+表面材厚	
材料・樹種	荷重支持部	柱：集成材(スギ、ヒノキ、カラマツ) 梁：集成材(スギ、ヒノキ、カラマツ)	柱：集成材(スギ、カラマツ、ヒノキ等) 梁：集成材(スギ、カラマツ、ヒノキ等)	柱：製材、集成材、LVL、CLT(樹種指定なし) 梁：製材、集成材(樹種指定なし)	柱：オメガウッド仕様(樹種指定なし) 梁：オメガウッド仕様(樹種指定なし)
	燃え止まり層	(モルタルまたは石膏)+集成材(カラマツ)	強化石膏ボード+耐火シート	石膏ボード	石膏ボード
	表面材	化粧材(樹種指定なし)	化粧材(スギ、カラマツ、ヒノキ、不燃木材等)	化粧材(樹種指定なし)	化粧材(樹種指定なし)

(出所：[https://sfc.jp/treecycle/mokuzai\\_distro/pdf/202007.pdf](https://sfc.jp/treecycle/mokuzai_distro/pdf/202007.pdf))

# 1. 木質ハイブリッド構造による中層共同住宅

## 2. 測定技術、上記部素材技術に対するDX検討状況と課題

### (1) 測定技術

#### ① 木柱・木梁の接合部 (PCa接合部材)

- 柱梁接合部を模擬した実大十字形試験体による静的繰返し载荷実験を実施し、その構造性能を把握している。

#### ② スリム耐火ウッド (柱、梁)

- 本計画では、外装 (バルコニー及び共用廊下) にスリム耐火ウッドを使用する為、火災安全上の観点から実大バルコニーを用いた上階延焼実験及び木質外装材の燃焼実験を行い、防火対策の有効性を検証した。
- また、スリム耐火ウッドは、木質耐火構造部材として国土交通大臣認定を取得しており、耐火性能を満たすための構造方法・仕様は規定されるが、その接合部の納まりは設計によって様々であり、耐火性能の確保に注意が必要である。本計画では、スリム耐火ウッドとPCa接合部、スリム耐火ウッド接合部・住戸界壁 (防火区画)・開口 (サッシ) との接合部について、意匠性・施工性・耐火性を考慮した納まり仕様を今後の汎用化も踏まえて複数考案して、モックアップ試験を兼ねて製作した実大試験体を用いた耐火実験により性能を検証した。

#### < 外装試験 >



バルコニー試験体

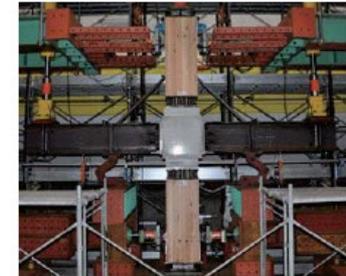


燃焼実験状況



木質外装実大試験体

#### < PCa接合部の実大実験 >



柱梁接合部の実大実験状況

#### < 柱・梁・Pca接合部の载荷加熱実験 >



木柱・梁・PCa接合部载荷加熱実験

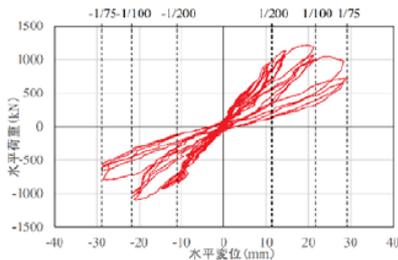
# 1. 木質ハイブリッド構造による中層共同住宅

## 2. 測定技術、上記部素材技術に対するDX検討状況と課題

### ③CLT耐震壁

- 実大試験体による静的繰返し載荷実験を実施し、その構造性能を把握した。

<CLT耐震壁の荷重-変形関係>



CLT耐震壁の荷重-変形関係

<CLT耐震壁の実大実験>



CLT耐震壁の実大試験状況

### ④RC-CLT合成床版

- シアキーせん断加力試験、静的鉛直たわみ試験、および重量衝撃音に対する遮断性能試験を行って合成効果を確認した。

<RC-CLT合成床版の遮音性能試験>

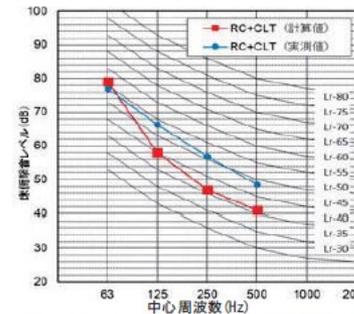


重量床衝撃音打撃状況(2F; 住戸)

重量床衝撃音測定状況(1F; テレワークエリア)

RC-CLT合成床版 床遮音性能試験状況

<RC-CLT合成床版の重量床衝撃音測定結果>



RC-CLT合成床版 重量床衝撃音測定結果

# 1. 木質ハイブリッド構造による中層共同住宅

## 2. 測定技術、上記部素材技術に対するDX検討状況と課題

### (2) BIM 活用によるRC造・木造ハイブリッド構造の施工シミュレーション

- 新しい構法など特殊な部材を使用した施工では、部材構成や施工手順が工事関係者に周知されていないといった課題がある。
- 施工計画の検討段階において、これらの情報を工事関係者間で共有することは最適な施工計画の立案に不可欠であり、このような検討には BIM (Building Information Modeling) モデルを用いることでイメージ共有が容易になる。さらに、施工手順を付加した4D モデルを用いた施工シミュレーションにより施工計画上の問題点を明確にし、施工計画を検討した。
- 4Dモデルによるシミュレーションは、設計者・施工管理担当者・施工業者とのコミュニケーションツールとして非常に有効であり、最適な施工計画の立案に大きく貢献した。

### (3) 実モックアップによる確認・検討

- 現場での施工に先立ち、モックアップ製作によりRC造・木造ハイブリッド構造における施工上の課題抽出、施工方法の検討を行った。モックアップ用の部材製作時には、スリム耐火ウツドの製作手順の確認・品質管理方法の確認をあわせて行い、スリム耐火ウツド製作工程における注意点などを共有した。また、いかにして製作効率をアップするかという生産性向上の検討を合わせ行った。
- モックアップ製作時には、BIM を活用した事前シミュレーションによる手順を再現し、問題の有無を確認した。
- 特に、各部材接合部の確認に重点を置いた。これにより、仕口部のPCa部材とスリム耐火ウツドの接合部や、RC壁との接合部の施工手順や問題点をモックアップによって確認できたことが、実施工を成功させるために大きな役割を果たした。さらに、構造部材の施工検証だけでなく、仕上げや防水の納まりもモックアップで確認し、実施工時における不具合の抑制に役立った。

### <BIM活用による施工シミュレーション>



BIM活用による施工シミュレーションイメージ

# 1. 木質ハイブリッド構造による中層共同住宅

## 2. 測定技術、上記部素材技術に対するDX検討状況と課題

### <実物大モックアップ>



実物大モックアップ全景

### <バルコニー部のモックアップ>



バルコニー部のモックアップ

### <バルコニー部のモックアップ>



RC-CLT合成床版のモックアップ

# 1. 木質ハイブリッド構造による中層共同住宅

## 3. 環境への取り組み、前記部素材技術に対するLCA、資源循環性の検討状況と脱炭素化への課題

- 清水建設では、森林資源の積極的な活用や地球環境負荷の低減を図るとともに、中層共同住宅に求められる耐震性・耐火性・居住性をより合理的に実現する木質構造と鉄筋コンクリート造(以下、RC造)のベストミックスとなる木質ハイブリッド構造を目指しており、その一環として、ハイブリッド木質構法「シミズ ハイウッド」と木質耐火部材「スリム耐火ウッド」を開発・採用している。
- 本件の木質ハイブリッド構造による中層共同住宅(自社社宅)は、国土交通省から2018年度の「サステナブル建築物等先導事業(木造先導型)」に採択されている。
- なお、マルチマテリアルを使用した『PCa接合部』及び『スリム耐火ウッド』、『CLT耐震壁』、『RC-CLT合床材版』のリサイクルに関する記述はなかった。

## 2. 1時間の耐火性能を有する木工梁の開発

論文タイトル	1時間の耐火性能を有する木工梁の開発
URL	<a href="https://www.shimztechnonews.com/tw/sit/report/vol98/pdf/98_008.pdf">https://www.shimztechnonews.com/tw/sit/report/vol98/pdf/98_008.pdf</a>
出展	清水建設研究報告 第98号 2020年12月
発行時期	2020年12月
著者	遠藤 智紀、森田 武、奥山 孝之、水落 秀木、谷口 尚範、竹田 拓司
所属組織	清水建設 技術研究所、設計本部、北陸支店
組織の概要	清水建設は東京都中央区に本社を置く、大手総合建設会社である。 2020年度の売上：(連結)1兆6982億9200万円、(単独)1兆4176億400万円 従業員数：(連結)16,586人、(単独)10,494人

### 文献概要

- 鉄骨梁を木材(以下、木質被覆材)で耐火被覆した1時間の耐火性能を有する木鋼梁を開発することを目的として、木質被覆材の樹種と被覆厚さをパラメータとした加熱試験、木質被覆材にヒバ・カラマツを用いた載荷加熱試験および拡大断面検証試験を行った。
- その結果、ヒバでは被覆厚さを80mm、カラマツでは50mmとすることにより、1時間の耐火性能を達成することができた。本開発の成果として、耐火構造部材の大臣認定を取得した。

## 2. 1時間の耐火性能を有する木工梁の開発

### 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

#### (1) 使用用途

建築物種類	社屋
使用部位	天井梁

- 2020年4月に着工、2021年4月に竣工した地下1階・地上3階、延床面積4,224m<sup>2</sup>の建築物(自社社屋)の『天井梁』にマルチマテリアル(鉄骨梁を木材で耐火被覆した耐火木鋼梁)を使用している。

#### <建物外観>



建設地	金沢市玉川町5-15
構造	鉄筋コンクリート造(一部鉄骨造)
規模	地下1階・地上3階、延床面積4,224m <sup>2</sup>
工期	2020年4月～2021年5月
企画・設計・施工	清水建設株式会社

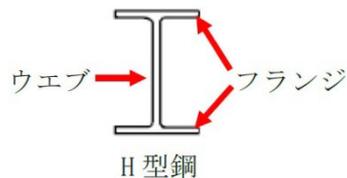
(出所: <https://www.shimz.co.jp/company/about/news-release/2021/2021006.html>)

## 2. 1時間の耐火性能を有する木工梁の開発

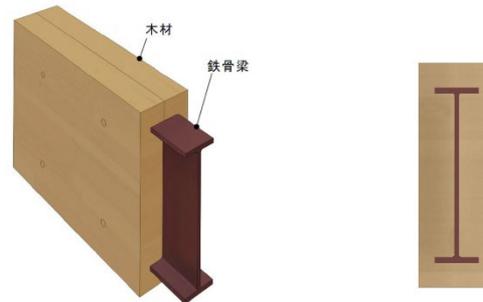
### 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

#### (1) 使用用途

- 清水建設では、2021年完工の北陸支店新社に、鉄骨梁を木材(木質被覆材)で耐火被覆した耐火木鋼梁『シミズハイウッドビーム』(仕上がり断面は高さ1,160mm、幅310mm)を採用した。
- 耐火木鋼梁とは、鉄骨梁を覆う集成材が耐火被覆の役割を果たす木質構造部材である。集成材は、火災時には炭化して断熱層を形成し、鉄骨梁の温度上昇を抑えることで耐火性能を維持する。平常時には密着させた集成材が鉄骨梁の剛性を補完するとともに仕上げ材の役割を果たす。
- 内蔵する鉄骨梁は、梁成1,000mm、フランジ幅150mmである。この木鋼梁をオフィス空間の長辺方向に3.6m間隔で架設するとともに、同サイズの能登ヒバの集成材を用いて格子角1.8mの格天井を築く。能登ヒバの使用数量は計228m<sup>3</sup>となった。



<シミズハイウッドビーム概念図>



<シミズハイウッドビームで構成した格天井>



(出所: <https://www.shimz.co.jp/company/about/news-release/2020/2020033.html>)

## 2. 1時間の耐火性能を有する木工梁の開発

### 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

#### (2) 使用材料と使用要因

部位	天井梁
使用材料	木材、H形鋼(シミズハイウッドビーム)

- 近年、環境への配慮や森林資源の適正な整備・保全等の観点から、建築物の木造化や木質化のニーズが高まっている。また、木材を活用した建築物の火災安全性に関する法整備や研究開発が進み、中高層建築や大空間建築への木材利用に関心が寄せられている。
- 木鋼梁は、鉄骨梁を木材(以下、木質被覆材)で耐火被覆した耐火構造部材である。火災中は木質被覆材が燃え進むが、火災後に燃え止まることで、鉄骨梁の温度上昇を抑制し、崩壊を防ぐ狙いがある。また、荷重支持部材に鉄骨梁を用いることで大スパンの架構を実現できる。さらに木を現しにでき、高い意匠性が期待できる。
- 既に、耐火性能を有する木鋼ハイブリッド部材が開発されてきているが、木質被覆材の樹種や被覆厚さ等の仕様は限定される。また、鉄骨梁の梁成が1m程度の大断面となる木鋼梁の耐火性能に関する知見は少ない。
- そこで、木質被覆材の樹種の多様化、被覆厚さの合理化・スリム化、木鋼梁の大断面・大スパン化の観点から、1時間の耐火性能を有する木鋼梁を開発した。
- なお、木鋼梁の集成材には、能登ヒバを使用している。

## 2. 1時間の耐火性能を有する木工梁の開発

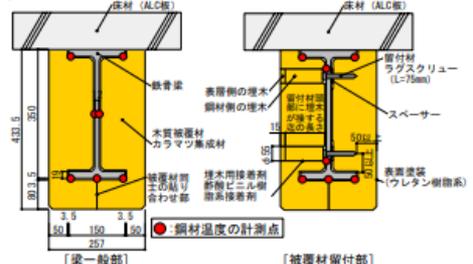
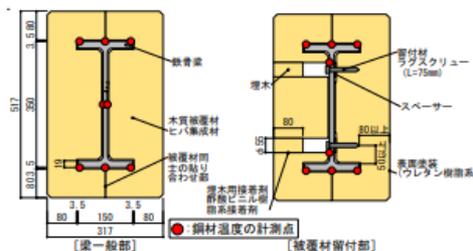
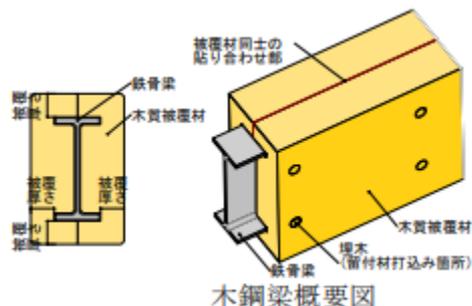
### 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

#### (3) 技術の概要

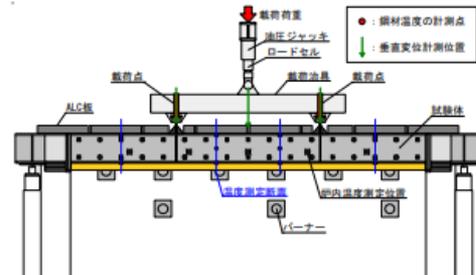
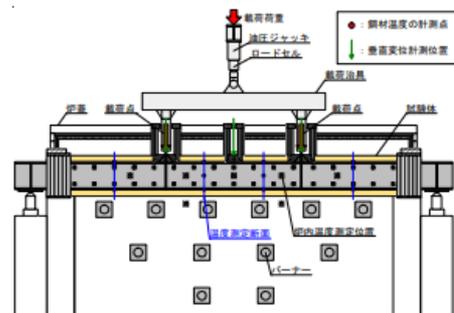
##### <木柱・木梁の接合部(PCa接合部材)>

- H形鋼の断面形状に沿って加工した木質被覆材を H形鋼に嵌め込み、梁の上・下部の被覆材の合わせ面を接着剤で貼り合わせた。さらに、H形鋼と木質被覆材をラグスクリューで留め付けて一体化させ、ラグスクリューを施工した孔に埋木を埋め込んだ。
- 木質被覆材には構造用集成材を用い、フランジ面及びフランジ先端から被覆材表面までの寸法を被覆厚とした。なお、吹き抜け等への利用を想定し、鉄骨梁断面の四周を被覆した仕様(四面被覆)と、梁上面に床が取付くことを想定し、鉄骨梁断面の上フランジを除く三周を被覆した仕様(三面被覆)の 2 仕様を検討した。

##### <木鋼梁概念図>



載荷加熱試験体断面図



載荷加熱試験方法図

## 2. 1時間の耐火性能を有する木工梁の開発

### 2. 測定技術（上記部素材技術に対するDX検討状況と課題）

#### <実験方法>

- 1時間の耐火性能を達成する木質被覆材の仕様を把握するために、木質被覆材の樹種、被覆厚さ等をパラメータとした小型試験体の加熱試験を行った。
- 次に、1時間の耐火性能を達成しうる木質被覆材の仕様を選定して、木鋼梁の火災時における構造安定性を把握するために、載荷加熱試験を行った。
- さらに、梁断面の大きさが耐火性能に及ぼす影響を把握するために、鉄骨梁の梁成が最大 1m となる木鋼梁の加熱試験を行った。

#### <測定内容(木鋼梁における耐火性能の判定基準)>

- 耐火構造部材には、火災による加熱を受けても崩壊しない性能(非損傷性)が必要とされる。非損傷性は、載荷加熱試験において、梁の垂直変形を測定し、試験中(本開発では、1時間加熱と24時間放冷の計25時間)のたわみ量とたわみ速度に基づいて判定した。ただし、載荷を行わない加熱試験では、試験中の鋼材温度(平均 350°C以下、最高 450°C以下)に基づいて判定した。
- また、木鋼梁では、木質被覆材の燃焼が火災後も継続すると鋼材温度が上昇して崩壊に至る可能性があるため、木質被覆材の燃焼が止まること(以下、燃え止まり)が必要とされる。そのため、木質被覆材が試験中に燃え止まるか否かも判定した。具体的には、発炎燃焼、無炎燃焼(以下、赤熱)、発煙のいずれもない状態を燃え止まりと判定した。

#### <実験結果>

- 1時間の耐火性能を有する木鋼梁の開発において、木質被覆材の樹種と被覆厚さをパラメータとした加熱試験、載荷加熱試験、拡大断面検証試験を行い、以下の知見を得た。
  - ✓ 木鋼梁の木質被覆材に、既往では検討されていないヒバを用いた場合、被覆厚さを80mm とすれば、1時間の耐火性能を満たした。
  - ✓ 木鋼梁の木質被覆材にカラマツを用いた場合、被覆厚さを既往よりも薄い 50mm としても、1時間の耐火性能を満たした。
  - ✓ 梁成が最大 1000mm の鉄骨梁をヒバまたはカラマツで被覆した木鋼梁においても、1時間の耐火性能を満たした。
  - ✓ 木質被覆材の仕様ならびに鉄骨梁の断面寸法から疑似的な部材温度上昇係数を算出することで、木鋼梁の鋼材温度の最大値や燃え止まりを推定できる可能性がある。

## 2. 1時間の耐火性能を有する木工梁の開発

### 3. 環境への取り組み(前記部素材技術に対するLCA、資源循環性の検討状況と脱炭素化への課題)

- 2010年(平成22年)に施工された、「公共建築物等木材利用促進法」や、企業のSDGsへの取組みを背景に、鉄骨造や鉄筋コンクリート造と木造を一体化した木質構造の建築物が普及しつつある。
- 清水建設では、顧客のSDGs達成に貢献できる、木質構造を構成する技術を「シミズハイウッド」と称し、中大規模の木質建築向けの技術開発を推進している。木質大空間を実現する「シミズハイウッドビーム」の開発は、その一環としている。
- なお、マルチマテリアルを使用した『シミズハイウッドビーム』のリサイクルに関する記述はなかった。

### 3. 耐火木造部材の荷重支持部の木材密度が耐火性能に与える影響

論文タイトル	耐火木造部材の荷重支持部の木材密度が耐火性能に与える影響
URL	<a href="https://www.jstage.jst.go.jp/article/aijt/21/47/21_151/_pdf">https://www.jstage.jst.go.jp/article/aijt/21/47/21_151/_pdf</a>
出展	日本建築学会技術報告集 第21巻 第47号, 151-156
発行時期	2015年2月
著者	大橋宏和(1)、長岡 勉(1)、永盛洋樹(2)、高橋 拓(1)、山本正人(1)、杉田敬太郎(2)、遊佐秀逸(3)、大宮喜文(4)、山田 誠(5)、齋藤 潔(6)
所属組織	(1):竹中工務店技術研究所 主任研究員 (2):竹中工務店技術研究所 研究員 (3):ベターリビング アドバイザー (4):東京理科大学工学部建築学科 (5):日本住宅・木材技術センター (6):齋藤木材工業
組織の概要	竹中工務店は、大阪府中央区に本社を置く大手総合建設会社である。 2020年度の売上:(連結)1兆3,536億2,700万円、(単独)1兆429億8,700万円 従業員数:(連結)13,042人、(単独)7,500人

#### 文献概要

- これまで3層構造の燃え止まり型耐火木造部材の研究開発に取り組んできた。この3層とは、外層の集成材からなる「燃え代層」、中層の燃焼を食い止める「燃え止まり層」、内層の集成材からなる「荷重支持部」である。
- 近年、燃え止まり型耐火木造部材(柱・梁)は、国土交通大臣認定を取得して、実際の建築物に適用されているが、いずれの認定条件も木材が単一樹種に限定されている。これにより、耐火木造の適用範囲が限定され、国内の多様な樹種による木造建築物の普及拡大の障害となっている。
- そこで異なる樹種を可能にするために、本研究を行った。木材密度の耐火性への影響を実証するために耐火性試験を実施した。耐力部の耐火性と木材密度の関係は明らかであった。耐荷重部の木材密度を高くすることで、耐火性能に有利な結論が得られた。

### 3. 耐火木造部材の荷重支持部の木材密度が耐火性能に与える影響

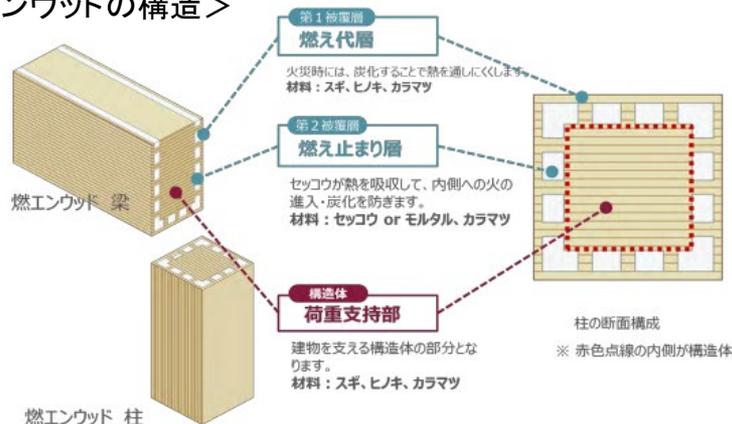
#### 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

##### (1) 使用用途(燃エンウッド)

建築物種類	<ul style="list-style-type: none"> <li>・オフィスビル「大阪木材仲買会館」(大阪)</li> <li>・商業施設「サウスウッド」(横浜)</li> <li>・教育施設「東京都江東区立有明西学園」(東京)</li> <li>・共同住宅「パークウッド高森」(仙台)</li> <li>・法人向け社員寮「フラッツウッズ木場」(東京)</li> <li>・研修センター「タクマビル新館」(尼崎)、他</li> </ul>
使用部位	木質耐火構造部材(柱、梁):『燃エンウッド』

- ・ 竹中工務店では、荷重支持部(集成材)+燃え止まり層(石膏orモルタル、カラマツ)+燃え代層(スギ、ヒノキ、カラマツ)の3層構造からなる耐火集成材『燃エンウッド』を開発している。
- ・ 3層構造の原理としては、火災に際し高断熱性の「燃え代層」によって内部への燃焼進行を食い止め、かつ「燃え止まり層」において熱の吸収と燃焼停止を並行させることで、荷重支持部を保護するものである。
- ・ 燃エンウッドは、各種大型木造建築物の構造部材(柱、梁)として使用されている。

##### <燃エンウッドの構造>



(出所: <https://www.rinya.maff.go.jp/j/rinsei/singikai/attach/pdf/210115si-15.pdf>)

### 3. 耐火木造部材の荷重支持部の木材密度が耐火性能に与える影響

#### 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

##### (1) 使用用途(燃エンウッド)



(出所: [https://www.meti.go.jp/shingikai/energy\\_environment/green\\_innovation/pdf/003\\_04\\_02.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/green_innovation/pdf/003_04_02.pdf))

# 3. 耐火木造部材の荷重支持部の木材密度が耐火性能に与える影響

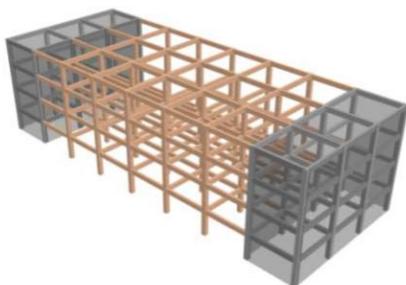
## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (1) 使用用途(燃エンウッド)

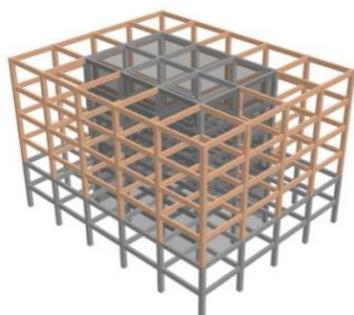
名称	大阪木材仲買会館	サウスウッド	有明西学園	パークウッド高森	フラッツウッズ木場	タクマビル新館
場所	大阪	横浜	東京	仙台	東京	尼崎
種類	オフィスビル	商業施設	公立学校	共同住宅	社員寮	研修センター
構造	地上3階	地下1階、地上4階	地上5階	地上10階	地上12階	地上6階
延床面積	1,032㎡	10,874㎡	24,494㎡	3,605㎡	9,150㎡	3,334㎡
竣工	2013年	2013年	2017年	2019年	2020年	2020年

### 建築物への燃エンウッドの適用

4階建てモデル(両側RC造)



6階建てモデル(中央RC造)



### 燃エンウッドの3層構造

- 4階建て、もしくは最上階から4層までに適用できます。
- 燃エンウッドフレーム以外にRC造等耐震要素が必要となります。

### 1時間耐火構造部材の大臣認定の取得

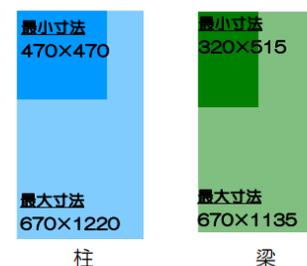
#### 燃エンウッドの大臣認定条件

樹種		国産カラマツ	
材質	心材	カラマツ(JAS 材)	
	燃え止まり層	カラマツ + モルタル	
	燃え代層	カラマツ	
耐火性能		1時間耐火大臣認定取得	
柱	寸法 (mm)	心材	300~500×300~1,050
		外寸	470~670×470~1,220
	支持荷重※1 (KN)	最大寸法時	4,500 程度
		最小寸法時	770 程度
梁	寸法 (mm)	心材	150~500×450~1,050
		外寸	320~670×515~1,135
	最大スパン※2	9.4m程度	

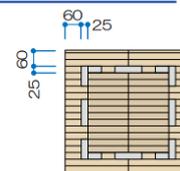
燃エンウッド関連基本特許

特許第4065416号、特許第4292119号、特許第4314081号 他

部材断面サイズの認定範囲



燃え代層・燃え止り層



(出所: <http://www.kenzai.or.jp/kouryu/image/39-03.pdf>)

### 3. 耐火木造部材の荷重支持部の木材密度が耐火性能に与える影響

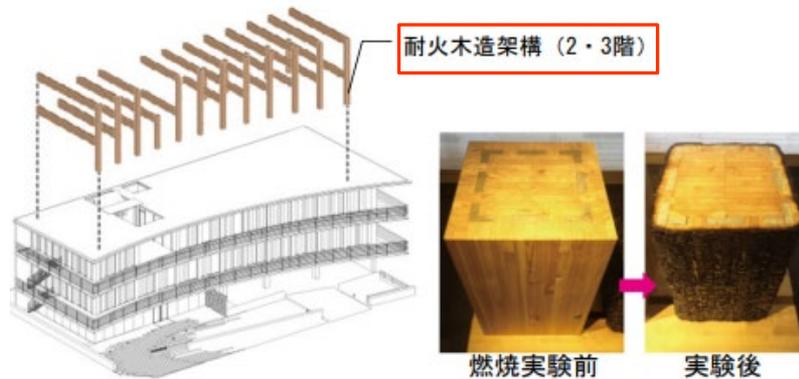
#### 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

##### (1) 使用用途(燃エンウッド)

<大阪木材仲買会館(柱・梁)>



<サウスウッド(柱・梁)>



(出所: <https://www.nikkenren.com/kenchiku/sb/pdf/270/13-029.pdf>)

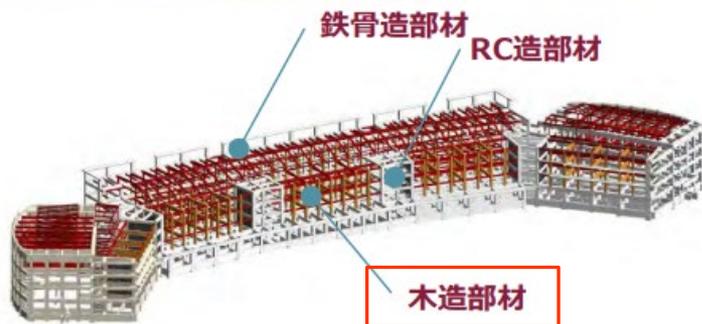
(出所: <http://www.kenzai.or.jp/kouryu/image/39-03.pdf>)

### 3. 耐火木造部材の荷重支持部の木材密度が耐火性能に与える影響

#### 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

##### (1) 使用用途(燃エンウッド)

<有明西学園(柱・梁)>



<パークウッド高森(柱、床、壁)>



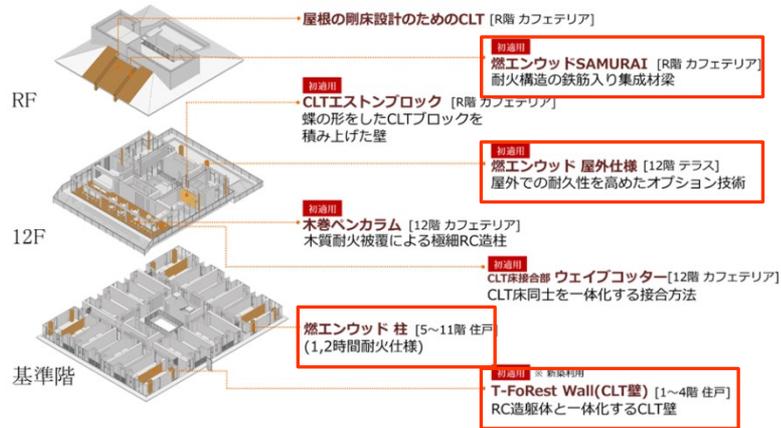
(出所: <https://www.rinya.maff.go.jp/j/rinsei/singikai/attach/pdf/210115si-15.pdf>)

# 3. 耐火木造部材の荷重支持部の木材密度が耐火性能に与える影響

## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (1) 使用用途(燃エンウッド)

＜フラッツウッズ木場(柱、壁)＞



(出所: <https://www.takenaka.co.jp/news/2020/02/02/index.html>)

＜タクマビル新館(柱、壁)＞



(出所: <https://www.rinya.maff.go.jp/j/rinsei/singikai/attach/pdf/210115si-15.pdf>)

# 3. 耐火木造部材の荷重支持部の木材密度が耐火性能に与える影響

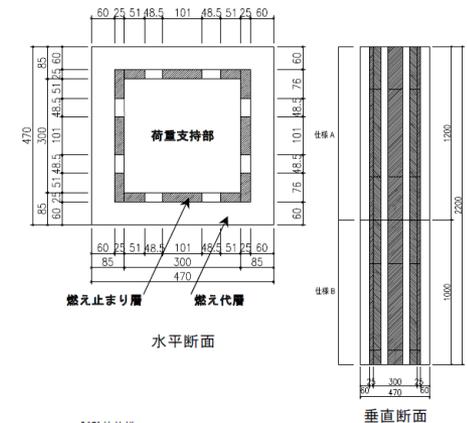
## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (2) 使用材料と使用要因

部位	柱・梁
使用材料	荷重支持部(木材)+燃え止まり層(石膏orモルタル、木材)+燃え代層(木材)

- ・ 関東大震災をはじめとする広範囲に及ぶ木造建築の火災、型台風による木造建築の被害、戦後枯渇した国内林産資源保護などを理由に、我が国は1950年の建築基準法制定によって市街地における建築物の木造化を禁止してきた。しかし、2000年に建築基準法が性能規定化に向けて改正され、所定の耐火性能を満足した木構造を耐火構造として取り扱うことが可能となった。
- ・ 一方、木材の活用は近年の環境意識の高まりとともに大きく注目されるようになった。竹中工務店では、2001年より木造化が困難であった市街地において木材現しの中高層木造建築を実現するため、3層構造の燃え止まり型耐火木造部材の研究開発に取り組んできた。
- ・ 近年、燃え止まり型耐火木造部材(柱・梁)は、国土交通大臣認定を取得して、実際の建築物に適用されているが、いずれの認定条件も木材が単一樹種に限定されている。これにより、耐火木造の適用範囲が限定され、国内の多様な樹種による木造建築物の普及拡大の障害となっている。
- ・ 本実験では、以下の試験体を作成した。

荷重支持体	スギ(密度大)、スギ(密度小)、カラマツ、ヒノキ
燃え止まり層	カラマツ,モルタル
燃え代層	カラマツ
ラミナ厚	≒23~30mm
接着	レゾルシノール・フェノール樹脂接着剤 塗布量350g/m <sup>2</sup>
荷重支持部二次接着	レゾルシノール系樹脂接着剤 塗布量350g/m <sup>2</sup>



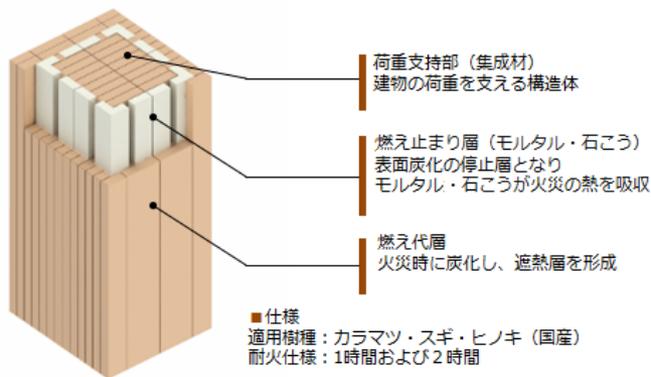
### 3. 耐火木造部材の荷重支持部の木材密度が耐火性能に与える影響

#### 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

##### (3) 技術の概要

##### <燃エンウッド(柱、梁)>

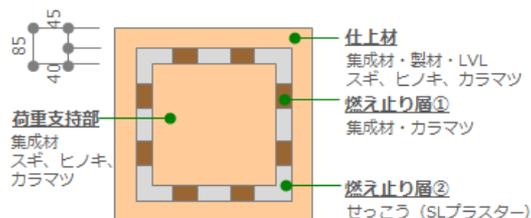
- 燃エンウッドは、荷重支持部(集成材)+燃え止まり層(石膏orモルタル、カラマツ)+燃え代層(スギ、ヒノキ、カラマツ)の3層構造からなる耐火集成材である。
- 火災が生じた場合、断熱効果(燃え代層:火災時に炭化し遮熱層を形成)と吸熱効果(燃え止まり層:表面炭化の停止層となりモルタル・石膏が火炎の熱を吸収)により柱・梁(荷重支持部)を火炎の熱から守る。



##### 1時間仕様

柱 : 荷重支持部 300×300 ~ 1080×1080  
(最大外形 1250×1250)

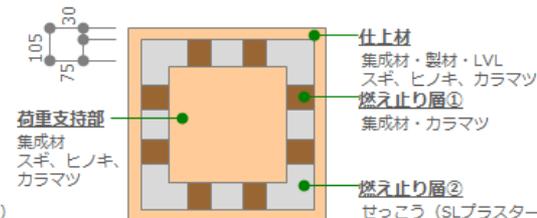
はり : 荷重支持部 150×450 ~ 500×1050  
(最大外形 670×1135)



##### 2時間仕様

柱 : 荷重支持部 300×300 ~ 1050×1050  
(最大外形 1260×1260)

はり : 荷重支持部 150×450 ~ 525×1150  
(最大外形 735×1255)



出所: <https://www.takenaka.co.jp/solution/needs/design/service20/index.html>

出所: <https://www.takenaka.co.jp/news/2018/03/04/>

# 3. 耐火木造部材の荷重支持部の木材密度が耐火性能に与える影響

## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

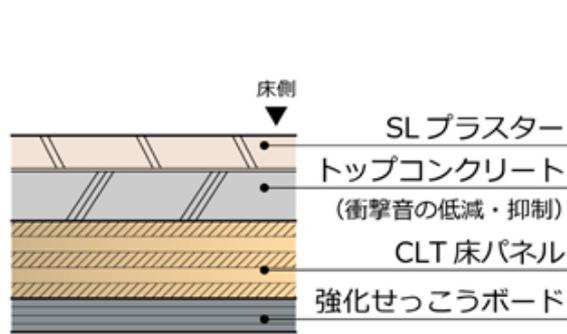
### (3) 技術の概要

#### <CLT合成スラブ(床)>

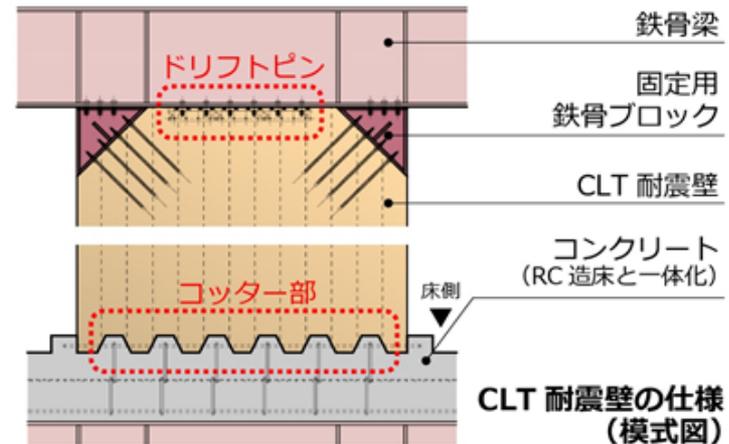
- 時間耐火構造のCLT床は、耐火性能を確保するために、下面には強化石膏ボード、上面に石膏系材料であるSLプasterを採用した。加えて、振動・騒音の原因となる重量床衝撃音を低減・抑制するため、CLT床の上にコンクリートを組み合わせて使用した。

#### <CLT耐震壁>

- 鉄骨造の耐震要素には、鉄骨ブレースや鋼板耐震壁を活用するのが一般的であるが、CLT耐震壁は、CLTを鉄骨造架構内での耐震壁として使用した。CLT耐震壁の下端は凹凸形状に加工したコッター部にコンクリートを流し込むことでRC造床と一体化して荷重を伝達させた。また、壁上端部の三角の形状をした鉄骨の固定用鉄骨ブロックとドリフトピンにより荷重を伝達させる。



2 時間耐火 CLT 床の仕様 (模式図)



CLT 耐震壁の仕様 (模式図)

(出所 : <https://www.takenaka.co.jp/news/2018/03/04/>)

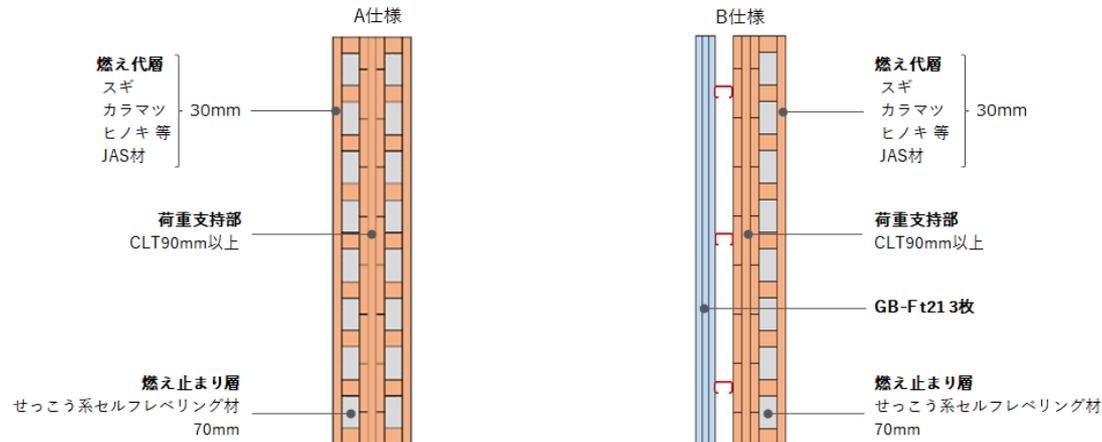
# 3. 耐火木造部材の荷重支持部の木材密度が耐火性能に与える影響

## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (3) 技術の概要

#### <燃エンウッドCLT耐力壁>

- 燃エンウッドCLT耐力壁は、厚さ90mm以上のCLTを採用した「荷重支持部」と、石膏系セルフベリング材とカラマツで構成された「燃え止まり層」、JAS規格の木材の「燃え代層」の2層の耐火被覆層で構成されており、建物の自重を支える耐力壁の構造部材として用いられる。
- 燃え代層から燃え止まり層までの厚さは100mmとしている。耐火性能を確保するために、燃え止まり層に木材と石膏系セルフベリング材を組み合わせた断面構成で開発・実用化している。
- 耐火認定では、下記に示すA及びBの2パターン仕様で認定を取得した。A仕様では更に大きな建物の荷重を支えられるように、荷重支持部材のCLT壁を2枚とすることも可能である。また、B仕様では燃え止まり層を強化石膏ボード(GB-F)としている。また、荷重支持部のみを木とし、両面を石膏ボード(GB-F)とすることも可能である。
- 柱及び梁の耐火要求性能は1時間(建物上部から4層)、2時間(建物上部から14層)、3時間(建物上部から14層以上)であるが、自重を支える耐力壁は2時間耐火認定を取得すれば、建物の階数に関わらず建物のいかなる耐力壁にも適用可能となる。



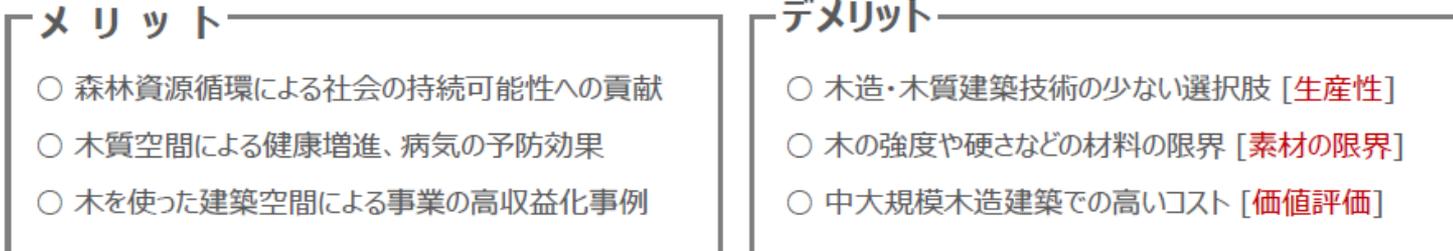
出所: <https://www.takenaka.co.jp/news/2021/02/01/index.html>

# 3. 耐火木造部材の荷重支持部の木材密度が耐火性能に与える影響

## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (3) 技術の概要

- 竹中工務店では、建築物への国産材の利用におけるメリット、デメリットを以下としている。



### デメリットから見る問題点と課題、解決方策

問題点	課題	解決方策
<b>経済合理性・生産性：</b> RC造や鉄骨造ほど経済合理性や生産性が実現されていない。	・コスト高を解決する構造方法、施工方法の確立 ・国産材調達の合理化、仕組みづくり	・構造部材の接合方法開発 ・新たな防耐火技術が活用できる設計手法整備 ・DXによる森林資源把握、木材流通システム
<b>木の素材の限界：</b> 自然由来の材料のため改質が難しく中大規模木造建築での適用範囲が限定される。	・高強度樹種の品種改良 ・他の材料とのハイブリッド材料	・強度指向エリートツリーの研究（早く、強く） ・CNF, 改質リグニン, ハイブリッド材料利用のための構造部材の設計法の整備
<b>木造建築の価値評価：</b> 一般経済での木造・木質建築の評価方法が確立されていない。	・木の良さの数量・定量評価 ・SDGs/ESGを念頭に置いた木材利用の環境貢献評価	・CO2削減量、環境影響の見える化 ・健康、医学アプローチによる便益研究 ・木造建築への投資根拠、環境格付け制度

(出所：<https://www.rinya.maff.go.jp/j/rinsei/singikai/attach/pdf/210115si-15.pdf>)

### 3. 耐火木造部材の荷重支持部の木材密度が耐火性能に与える影響

#### 2. 計測技術（上記部素材技術に対するDX検討状況と課題）

##### <実験方法（耐火性能実験）>

- ・ 試験体製作時に各部位（荷重支持部、燃え止まり層、燃え代層）からサンプルを抜き出し、実験直前にその寸法（mm）と重量（g）を測定し、密度（kg/m<sup>3</sup>）を算定するとともに、その後105°Cで乾燥養生し含水率を測定した。
- ・ 実験は竹中工務店の多目的耐火炉を用い、試験体を炉内に設置して耐火性能実験を行った。
- ・ 実験手順は、ISO834の標準加熱温度曲線（ $T=345\log(8t+1)+20$  T:温度（°C）、t:時間（分））に従い1時間加熱した後、炉内に24時間放置とした。放置中の炉内の給排気制御は、バーナーをアイドル状態としてエアを供給し、排風機の出力を最小として行った。また、実験終了時に目視で燃え止まりを確認した。

##### <測定内容>

- ・ 加熱中および加熱後の温度を時間の経過とともに測定した。測定項目は、耐火炉内温度と試験体内部温度とし、炉内温度はシーズ熱電対を、内部温度はK型熱電対（線径φ0.32mmのガラス被覆型）を用いて測定した。
- ・ また、加熱中は目視観察を行い、脱炉時には表面に火の気がないこと、発煙がないことも確認した。脱炉後に試験体を解体・切断し、荷重支持部の炭化の有無を確認した。

##### <実験結果>

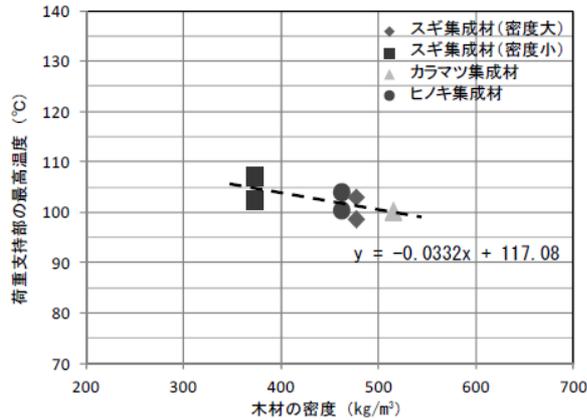
- ・ 荷重支持部に用いる木材種類（樹種）の違いによる耐火性能への影響を把握するため、数種類の国産針葉樹集成材（スギ、ヒノキ、カラマツ）を用いた実大の柱の部材加熱実験を行い、耐火性能の有利・不利を明らかとした。
- ・ その結果、以下の結論を得た。
  - ① 荷重支持部の木材密度と耐火性能の関係を明らかとし、荷重支持部の木材密度が高い樹種の方が耐火性能は有利である。木造の燃え止まり層を有する部材の耐火性能を検討する場合、荷重支持部に用いる木材には想定される最も密度の小さい樹種（例えばスギ集成材（密度小））を選定すれば、それより密度が大きな樹種は同等以上の性能が見込める。
  - ② 今回用いた試験体の荷重支持部の木材密度はロット単位で359～522kg/m<sup>3</sup>であり、国産針葉樹集成材の主なものはこの範囲に含まれる。
- ・ これまで、燃え止まり型耐火木造部材の国土交通大臣認定は、単一樹種に限定されていたが、今後は密度を有利・不利の判断材料の一つとして、多樹種の耐火性能評価時に用いることが可能になった。

# 3. 耐火木造部材の荷重支持部の木材密度が耐火性能に与える影響

## 2. 計測技術（上記部素材技術に対するDX検討状況と課題）

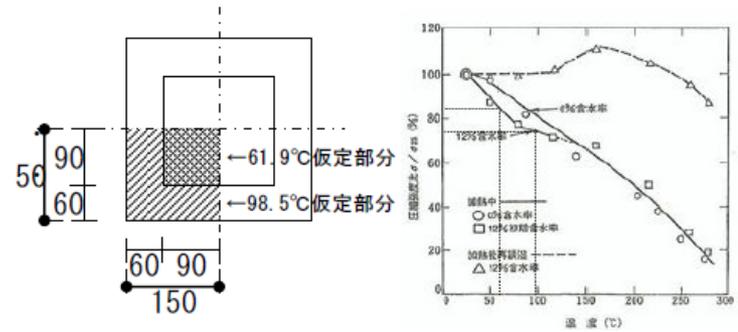
### <実験結果>

#### <木材の密度と荷重支持部の最高温度の関係>



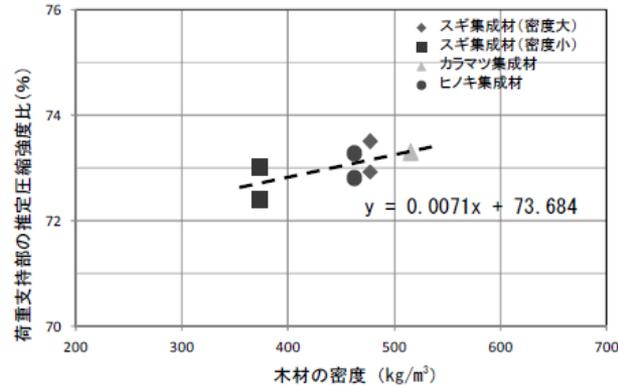
木材の密度と荷重支持部の最高温度の関係

#### <推定累加強度算定時の断面、温度作用による圧縮強度>



推定累加強度算定時の断面、温度作用による圧縮強度 (6) (8) (9)

#### <木材の密度と荷重支持部の推定圧縮強度比>



木材の密度と荷重支持部の推定圧縮強度比

### 3. 耐火木造部材の荷重支持部の木材密度が耐火性能に与える影響

#### 3. 環境に対する取り組み(前記部素材技術に対する LCA、資源循環性の検討状況と脱炭素化への課題)

##### <環境に対する取り組み>

- 竹中工務店では、燃エンウッドなど木材を採用した「中高層木造建築」技術の開発を進めている。これにより、十分に活用されていない国産木材の利用促進に寄与するとともに、「都市木造」という新たな木材活用領域を創出する。
- また、建築における炭素固定、CO2吸収源となる森林資源循環の促進として『森林グランドサイクル』に取り組んでいる。これは、単に木材利用量の拡大のみを意図するものではなく、山元他ステークホルダーと連携し、持続可能な林業経営・地域産業の活性化を図るなど、森林資源と社会経済の大きな循環を目指している。森林とまちをつなぎ、私たちの社会生活に森を取り込む、『森林グランドサイクル』を構築する。都市部でより多くの建物を木造化・木質化することが木材の需要を高め、日本の森林・林業・地域を活性化する。
- なお、マルチマテリアルを使用した『燃エンウッド』のリサイクルに関する記述はなかった。



(出所: <https://www.challenge-zero.jp/jp/casestudy/117>)

## 4. CLT 耐震パネルを組み込んだ鉄骨ハイブリッド構造の設計事例と抽出された課題

論文タイトル	CLT 耐震パネルを組み込んだ鉄骨ハイブリッド構造の設計事例と抽出された課題
URL	<a href="https://www.jstage.jst.go.jp/article/aijt/26/64/26_923/_pdf">https://www.jstage.jst.go.jp/article/aijt/26/64/26_923/_pdf</a>
出展	日本建築学会技術報告集 第26巻 第64号, 923-928,
発行時期	2020年10月
著者	福本晃治(1)、國府田まりな(1)、齋藤真美(2)、岡崎智仁(3)、五十田博(4)、安井昇(5)
所属組織	(1): 竹中工務店大阪本店設計部構造部門 (2): 竹中工務店技術研究所 (3): 竹中工務店技術本部技術プロデュース部 (4): 京都大学生存圏研究所 (5): 早稲田大学理工学術院総合研究所
組織の概要	竹中工務店は、大阪府中央区に本社を置く大手総合建設会社である。 2020年度の売上: (連結)1兆3,536億2,700万円、(単独)1兆429億8,700万円 従業員数: (連結)13,042人、(単独)7,500人

### 文献概要

- 近年、中高層建築物の構造部材への木材利用を具現化するため、床・柱・梁等に対する耐火措置を講じた木材を利用した工法・製品が開発されつつあるが、これらの場合、製造者が限定される等の制約があり、部材寸法上の適用条件も存在する。
- ここでは、耐火処置等の規定がかからない鉛直荷重を支持しない耐震部材(制振部材)に焦点を当てるとともに、木材の有する軽量かつ加工性・供給性・環境負荷の観点に優れる特性に着目し、その曲げ性能およびめり込み性能を活用した鋼材の補剛工法を考案した。
- 本件では、その具体的な事例の1つとして、重層型建物に利用される耐震部材(制振部材)への木材利用を目指した。

# 4. CLT 耐震パネルを組み込んだ鉄骨ハイブリッド構造の設計事例と抽出された課題

## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (1) 使用用途(燃エンウッド)

建築物種類	<ul style="list-style-type: none"> <li>・社員寮「新倉竹友寮」(埼玉県)</li> <li>・オフィスビル「兵庫県林業会館」(神戸市)</li> <li>・共同住宅「パークウッド高森」(仙台)</li> <li>・法人向け社員寮「フラッツウッズ木場」(東京)</li> <li>・研修センター「タクマビル新館」(尼崎)</li> </ul>
使用部位	CLT耐震パネル(壁)

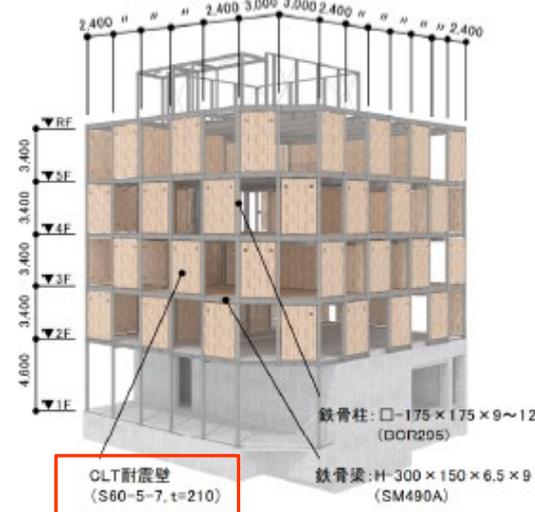
- ・ 竹中工務店では、事務所、共同住宅、社員寮などの耐震壁にマルチマテリアルとしてCLT壁+鉄骨フレームハイブリッド構造を採用している。

#### <兵庫県林業会館>



「兵庫県林業会館」の建築概要

事業管理：兵庫県都市木造建築  
支援協議会  
設計：竹中工務店  
施工：竹中工務店・ダイワ  
ハウス工業特定建設  
工事共同企業体  
建築面積：310.49 m<sup>2</sup>  
延床面積：1567.10 m<sup>2</sup>  
規模：地上5階、塔屋1階  
構造：CLT+S造  
耐震計算ルート：ルート3  
工期：2018年3月～  
2019年1月(10ヶ月)



「兵庫県林業会館」の構造パース

# 4. CLT 耐震パネルを組み込んだ鉄骨ハイブリッド構造の設計事例と抽出された課題

## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (1) 使用用途

- 竹中工務店では、事務所、共同住宅、社員寮などの中高層木造模建築物に『CLT壁＋鉄骨フレームハイブリッド構造』を採用している。
- 「CLT壁＋鉄骨フレームハイブリッド構造」は、鉛直力を支持する鉄骨の柱・梁フレームと水平力に抵抗するCLT耐震壁により構成され、CLT耐震壁を鉄骨フレームにより拘束することで、木がもつ材料強度を効率よく引き出すことができる。また、一般的な鉄骨造建物にもブレースと同様の耐震要素として幅広く利用することができ、超高層建築にも適用が可能である。
- これまで、都市部での中大規模の耐火建築物でCLTを構造部材として用いることや、木を現しで使用することは非常に困難であった。「CLT壁＋鉄骨ハイブリッド構造」は火災時に鉄骨のみで建物を支えることでこれらを可能とし、都市部での木材利用を促進できる。
- 梁を鉄骨造とすることで一般的な木造建築では難しい大スパンが可能となり、オフィス、店舗、学校など多様な建物用途に適用できる。

出所：<https://b2b-ch.infomart.co.jp/news/detail.page?IMNEWS1=1134684>

# 4. CLT 耐震パネルを組み込んだ鉄骨ハイブリッド構造の設計事例と抽出された課題

## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (2) 使用材料と使用要因

部位	耐震壁
使用材料	CLT壁＋鉄骨フレーム

- CLTを用いた構造システムとしてはCLTパネルのみで構成されるCLTパネル工法や、従来の木造軸組工法における耐力壁や床として部分的にCLTを併用する方法が主流となっており、主として3階建程度までの低層建物に適用されている。
- しかし、CLTパネル工法や在来軸組工法との組み合わせによる構造システムでは高層建築への適用には課題が多く、高層建築物に必要な高軸力の支持や大スパン架構を、経済性を含めて合理的に達成することが困難である。
- 更に、建築物に対して区域や規模に応じて1時間～3時間の耐火性能を確保することが建築基準法で規定されており、木質構造部材を安易に耐火被覆すると木を空間に表現したいという意匠面での要求と相反するだけでなく、耐火被覆に施工手間とコストがかかる問題があり、木質構造の耐火性能の確保には多面的な課題が含まれる。
- これらのような構造上、耐火上の課題を踏まえ、CLTを鉄骨フレームにより拘束することでCLTが本来保有している構造性能を発揮させ、鉄骨架構により高軸力の保持や大スパンを合理的、経済的に実現することを目的とした。更にCLTパネルを耐震要素として特化し耐火被覆を無くすことで、意匠性、施工性、経済性の向上を図った。

# 4. CLT 耐震パネルを組み込んだ鉄骨ハイブリッド構造の設計事例と抽出された課題

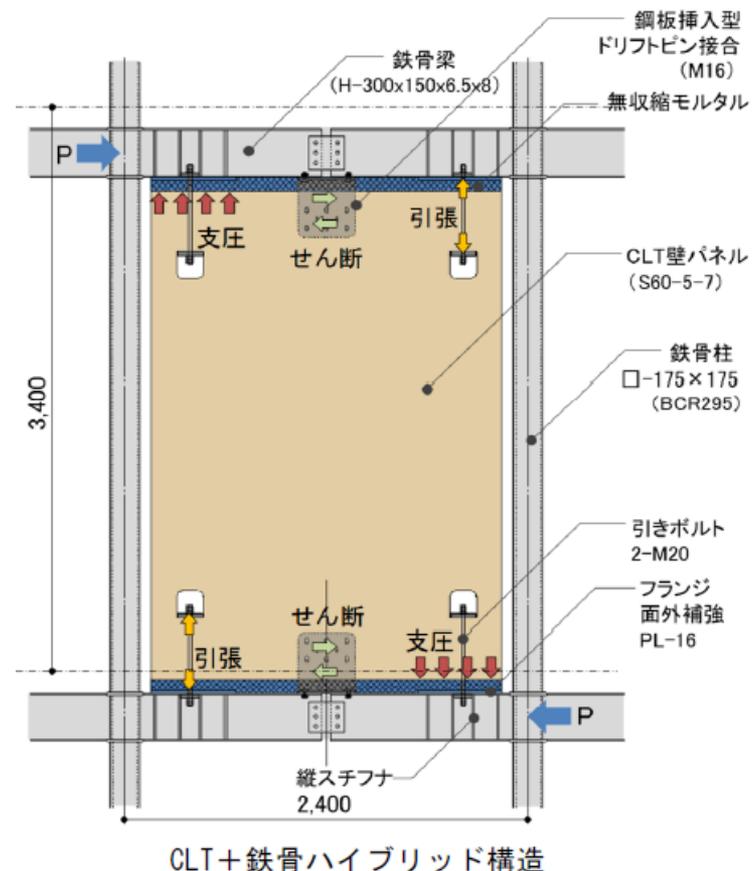
## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (3) 技術の概要

#### <兵庫県林業会館>

- CLT耐震パネルは、S60-5-7(210mm厚)、鉄骨柱:□-175×175×9(BCR295)、鉄骨梁:H-300×150×6.5×9(SM490A)とし、階高3.4m、柱配置2.4mピッチの鉄骨グリッドに高さ2.940m×幅2.085m(H/L=1.41)のCLT耐震パネルを配置した。
- 引張接合として、CLT耐震パネルの四隅に引きボルト2-M20(ABR400)を配置し、せん断接合として、鋼板挿入型ドリフトピン接合(ドリフトピン径φ16)を中央に設けた。
- また、耐火性能の確保と確実な応力伝達のために、CLTと鉄骨梁との間に無収縮モルタルを充填した。

#### <CLT+鉄骨ハイブリッド構造>



# 4. CLT 耐震パネルを組み込んだ鉄骨ハイブリッド構造の設計事例と抽出された課題

## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (3) 技術の概要

#### <新倉竹友寮>

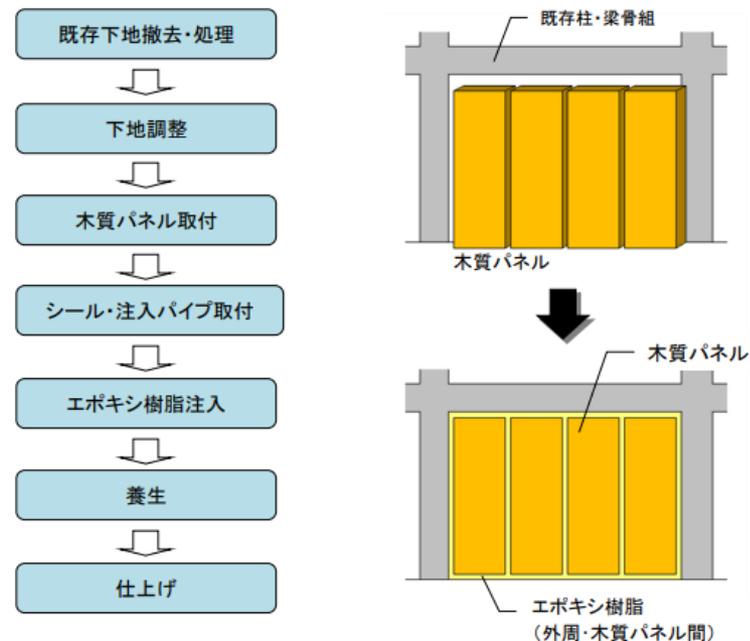
- CLTパネルは、厚さ3cm×幅13cmのスギの板を幅方向に接着し、繊維が互いに直交するよう7層に重ねて圧着したものを、1枚当り250kgとなる厚さ21cm×幅100cm×高さ270cmのパネルとして作業所に運搬した。
- パネルを横に4枚並べ、既存RC躯体とCLTパネルおよび隣合うCLTパネル同士の小口間にエポキシ樹脂接着剤を圧入して接着接合する接着工法を用いて既存躯体とCLTパネルを一体化し、耐震壁とした。
- CLTを用いた補強箇所は1階食堂部分の壁10.8m<sup>2</sup>である。

#### <CLTを用いた耐震壁>



(出所: <https://www.takenaka.co.jp/news/2014/12/02/index.html>)

#### <CLT+鉄骨ハイブリッド構造の施工方法>



(出所: <https://www.tohoearthtech.co.jp/mokushitsu.pdf>)

# 4. CLT 耐震パネルを組み込んだ鉄骨ハイブリッド構造の設計事例と抽出された課題

## 2. 計測技術（上記部素材技術に対するDX検討状況と課題）

- 本実験では、まず、CLTパネルの耐震要素としての耐力と、接合部や周辺部材の耐力との関係を把握した上で鉄骨架構に組み込んだ際のCLTの耐力を検証し、実プロジェクトを例にした構造設計手法を提示する。
- 次に、構造システムとしての耐火性能の確保のため、CLT耐震パネルの耐火被覆を無くした場合に、CLTの燃焼が周辺鉄骨の耐火性能に与える影響について検証した。

### <CLTパネル工法で実現できる耐力>

- 一般的なCLT耐震壁の接合要素として、引張側は引きボルト接合、圧縮側はCLTの支圧とした場合について、各接合部の耐力を比較検討した。

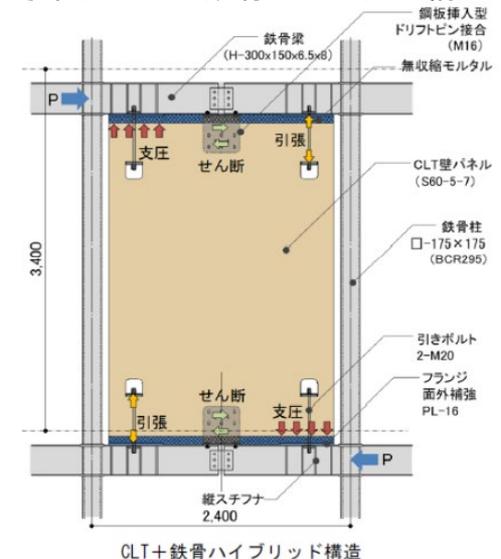
### <CLT耐震壁の支圧部耐力とCLT耐震壁のせん断応力度の関係>

- CLT耐震壁の支圧部が仮に圧縮耐力 $C_c$ まで達したとした場合におけるCLT耐震壁のせん断応力度について検討した。

### <CLT耐震パネル+鉄骨造ハイブリッドシステムと構造設計手法>

- 上記1.2.を状況を鑑みて、CLTを鉄骨造に組み込むことで、CLTの耐震要素としての構造性能を向上させる構造システムを考案した。

### <考案したCLT+鉄骨ハイブリッド構造>



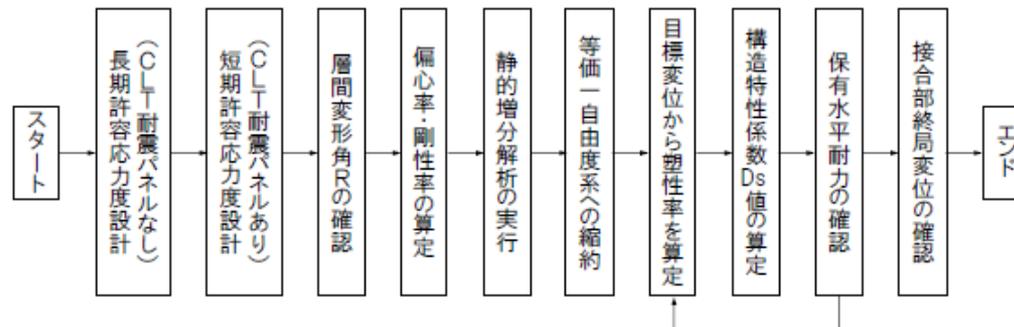
# 4. CLT 耐震パネルを組み込んだ鉄骨ハイブリッド構造の設計事例と抽出された課題

## 2. 計測技術（上記部素材技術に対するDX検討状況と課題）

### <構造設計フロー>

- 「兵庫県林業会館」では、CLT耐震パネルを耐震要素として特化するため、CLT耐震パネルがない状態で長期許容応力度設計を実施した。その上で、鉄骨造としての耐震計算ルート3に準拠し、層間変形角、偏心率、剛性率の確認、短期許容応力度設計、保有水平耐力計算、接合部の終局変位の確認を順次実施した。

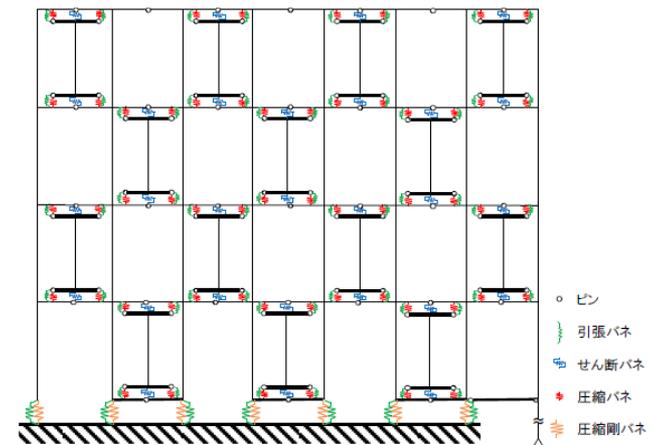
### <設計フロー>



### <応力解析モデル>

- 応力解析のモデル化手法は、CLTマニュアルに示された方法を参考にして鉄骨とのハイブリッド構造に応用したものであるが、市販の一貫構造計算プログラムによるモデル化は現状ほとんど不可能であり、汎用応力解析ソフトを使用することとなる（筆者らは「MIDAS iGEN」を使用）。設定するばねや節点数が多くなることからモデル化やデータ処理の扱いが煩雑となり、設計に労力を有することは実務上大きな課題である。
- また「兵庫県林業会館」では上記応力解析モデルを構築したうえで、設計フロー図に示すように、静的増分解析を実施して保有水平耐力計算を実施した。

### <応力解析モデル概要>



# 4. CLT 耐震パネルを組み込んだ鉄骨ハイブリッド構造の設計事例と抽出された課題

## 2. 上記部素材技術に対するDX検討状況と課題

### <実験結果>

- 本実験では、CLTパネルを鉄骨架構に組み込むことによりCLTの構造性能を効率よく発揮させることが可能であることを示した。また、設計実例を通じて、保有水平耐力計算までを含めた一連の構造設計手法を提示し、本構造システムの有用性を確認した。
- 一方、今後に向けた課題として以下が挙げられる。
  - 構造実験による破壊性状や構造性能に関する知見が不足しており、構造特性係数 $D_s$ 値に対する合理的な根拠がない。
  - 引きボルトは角孔周囲のせん断破壊や引張破壊を避けるため大きな引張降伏耐力を確保することができない。
  - 応力解析モデルが煩雑で設計実務上多大な労力を要する。
  - 高層建築への適用には2時間耐火についても検証が必要である。
- これらの課題については、構造実験、解析的検討、加熱実験を実施中であり、後日、詳報する予定である。

## 3. 前記部素材技術に対するLCA、資源循環性の検討状況と脱炭素化への課題

- マルチマテリアルを使用した『CLT壁＋鉄骨フレーム』のリサイクルに関する記述はなかった。

## 5. 木材の曲げ性能を鋼板の補剛に活用した制振部材の開発と実建物への適用

論文タイトル	木材の曲げ性能を鋼板の補剛に活用した制振部材の開発と実建物への適用
URL	<a href="https://www.jstage.jst.go.jp/article/aijt/26/64/26_905/_pdf">https://www.jstage.jst.go.jp/article/aijt/26/64/26_905/_pdf</a>
出展	日本建築学会技術報告集 第26巻 第64号, 905-910
発行時期	2020年10月
著者	江坂佳賢(1)、大山翔也(1)、稲山正弘(2)、青木謙治(2)
所属組織	(1): 日建設計エンジニアリング部門構造設計グループ (2): 東京大学大学院農学生命科学研究科
組織の概要	日建設計は東京都千代田区に本社を置く、大手建築設計事務所である。 2018年度の売上: 421億円 従業員数: (連結)2,923人、(単独)2,035人

### 文献概要

- 近年、中大規模建築物の構造部材への木材利用を具現化するため、床・柱・梁等に対する耐火措置を講じた木材を利用した工法・製品が開発されつつあるが、これらの場合、製造者が限定される等の制約があり、部材寸法上の適用条件も存在する。
- ここでは、耐火処置等の規定がかからない鉛直荷重を支持しない耐震部材(制振部材)に焦点を当てるとともに、木材の有する軽量かつ加工性・供給性・環境負荷の観点に優れる特性に着目し、その曲げ性能およびめり込み性能を活用した鋼材の補剛工法を考案した。
- 本件では、その具体的な事例の1つとして、重層型建物に利用される耐震部材(制振部材)への木材利用を目指した。

# 5. 木材の曲げ性能を鋼板の補剛に活用した制振部材の開発と実建物への適用

## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (1) 使用用途

建築物種類	中・大規模建築物(オフィスビル)
使用部位	耐震部材(制振間柱)

- 鋼板と木材によるハイブリッド型の制振間柱(内・外壁下地のための柱で上の階の荷重を負担しないもの)を開発した。
- 適用建物は福岡市に計画された地上11階建ての鉄骨造の事務所ビルであり、2階から10階までを基準階とする重層型の構造である。

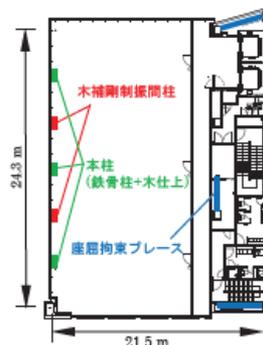
#### <建物外観>



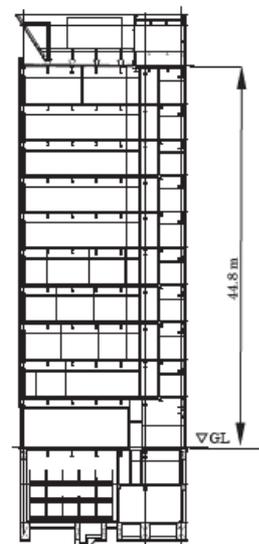
#### <建物概要>

建物諸元  
 ・建設地：福岡県福岡市  
 ・建物用途：事務所  
 ・階数：地上11階, 地下2階  
 ・構造：地上S造, 地下RC造  
 ・建築面積(概数)：590㎡  
 ・延べ面積(概数)：6,800㎡

図16 建物諸元



a) 基準階平面図



b) 断面図

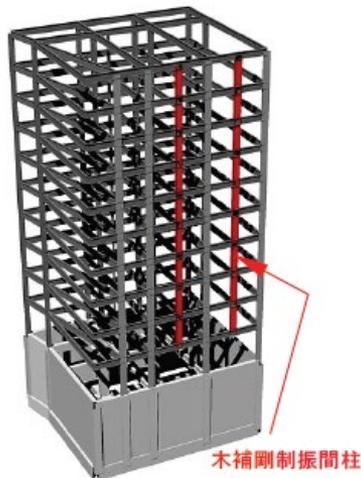
# 5. 木材の曲げ性能を鋼板の補剛に活用した制振部材の開発と実建物への適用

## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (1) 使用用途

- 適用建物は、敷地の2面を前面道路に接する角地に立地するため、執務空間の採光・使用性の観点から16.5m スパンの無柱空間を有する片コア形式として設計した。また本建物では地震時の建物の損傷を抑制するために制振構造を採用しており、骨組架構内に制振部材を付加することで耐震性能の向上を図った。
- 既往の制振部材を用いたこれまでの構造設計においては、制振部材はコア内の隠蔽部に配置することが一般的であり、外観上・使用上の問題から見え掛かり部への配置事例は少ない。
- 本建物のようなコア形式が片コア型の場合や建築面積がコンパクトなペンシルビルの場合、コア内に制振部材が集中配置されることにより、偏心を生じて建物がねじれ振動すること、制振部材を設置できる箇所が限られること等が課題となる。
- そこで本計画では、今回開発した木補剛制振間柱の優れた意匠性を活用し、桁行方向において、コア内の座屈拘束ブレースと外装面架構の見え掛かり部に設けた木補剛制振間柱とにより、バランスの良い架構を構成し、その解決を図った。

<構造概念図>



<取付状況・使用外観>



補剛木材 取付状況



内観写真



外観写真

## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (2) 使用材料と使用要因

部位	耐震部材(制振間柱)
使用材料	木材+H形鋼

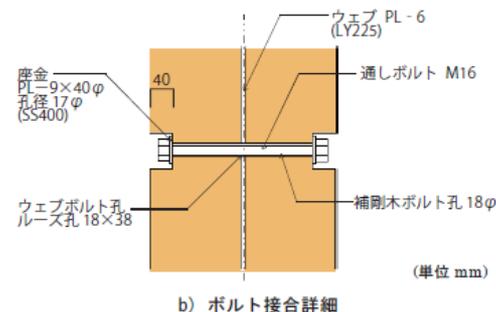
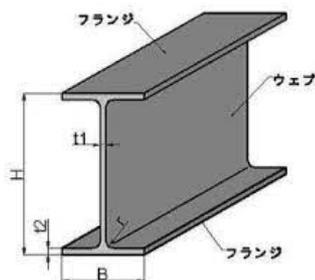
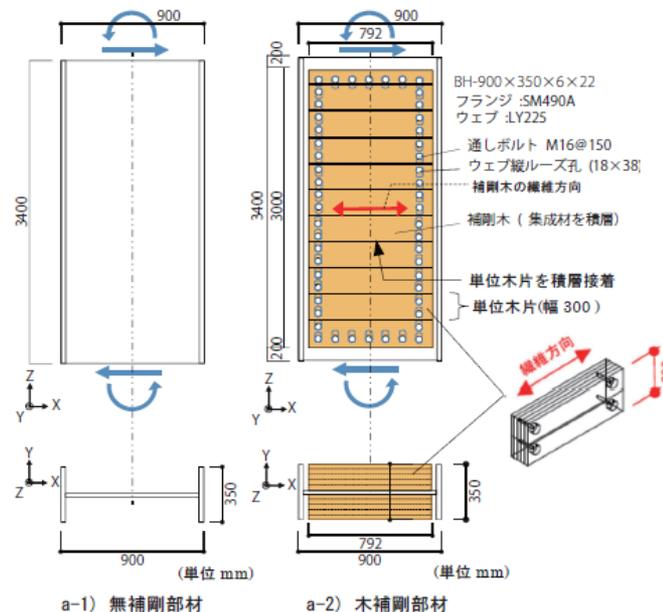
- 持続可能な循環型社会の構築を見据え、生物資源である木材の有効利用が求められている。建築物の構造部材への木材利用を考えた場合、建物規模や立地に加え、その適用対象を鉛直荷重支持部材とするか否かで、耐火規定への適合の要否および要求性能が異なる。
- ここでは、耐火処置等の規定がかからない鉛直荷重を支持しない耐震部材(制振間柱)に焦点を当て、木材の有する軽量かつ加工性・供給性・環境負荷の観点に優れる特性に着目し、その曲げ性能およびめり込み性能を活用した鋼材の補剛工法を考案した。
- 制振間柱は、鉛直荷重支持部材には該当しないため、耐火処置等が不要となり、製造者等を限定することなく、幅広い運用が期待される。また既往の鋼材系制振間柱に必要となる、ウェブへの補剛リブの溶接が不要となり、溶接技量および施工手間の低減が可能となる。さらに意匠性に優れた制振部材であり、見え掛かり部での積極的な利用も可能となる。このことから新築に限らず、一般的に溶接施工が困難であるとともに、耐震部材(制振部材)の設置箇所が限定される既存建物の耐震改修などにも拡張できる可能性が高い。

# 5. 木材の曲げ性能を鋼板の補剛に活用した制振部材の開発と実建物への適用

## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (4) 技術の概要

- H形鋼部材のウェブ両面に木部材をあてがうことで、ウェブの板座屈補剛を行っている。
- 鋼材は、フランジにはSM490A、ウェブにはLY225を用いており、補剛木材の形状は厚さ139mm×幅792mm×長さ3,000mmとし、厚さ139mm×幅792mm×長さ3,000mmのすぎ集成材(E65F225)の単位木片を幅方向に積層接着している。
- ウェブ両面に設けた木材は通しボルトにて相互に緊結して、鉄骨部材のせん断変形が木材に伝達されることがないように、通しボルトが貫通する鉄骨側のボルト孔は縦方向のルーズ孔とした。
- これにより、鉄骨部材がせん断変形した際には木材はロッキングし、木材がせん断変形することを回避し、鉄骨部材のせん断変形に追従可能となる。
- 制振間柱として使用し、せん断力を負担した際には柱の上下端に逆対象モーメントが作用する状態となる。



## 2. 上記部素材技術に対するDX検討状況と課題

- 本稿では、木材の曲げ性能を補剛に活用するという着想に基づき、解析的検討を行い、その実現性を検証した。
- 解析ソフトにABAQUSを用い、以下に示す解析を行った。
  - (1)座屈固有値解析  
弾塑性有限要素解析において初期不整を導入するためにH形鋼部材を対象に座屈固有値解析を行い、H形鋼部材の座屈モードを求めた。
  - (2)弾塑性有限要素解析  
無補剛モデル、木補剛モデル共にウェブ面外方向(Y方向)の初期不正の最大値を柱長さの1/1000(3.4mm)とし、上記のH形鋼部材のみのモデルの座屈固有値解析で得られた1次の座屈モード形状で初期不整を付与したうえで、柱上端にウェブ面内方向(X方向)の強制変位を与えて増分解析を行った。増分解析は柱の部材角が1/50に達した時点で終了した。
- また、材料・幾何学的非線形性、異種材料間の接触、繰り返し効果による物性変化等に対しては、解析的検討のみでは不十分であると考え、実大の実験的検討に基づき、構造安全性を確認し、最終的な検証を行った。
- なお、この一連の検討は、実建物への適用を見据えた個体検討となっており、実験結果を踏まえた解析手法の構築および、木材による鋼板の座屈補剛の一般化評価方法の構築には至っておらず、これらについては今後の課題としている。

## 3. 前記部素材技術に対するLCA、資源循環性の検討状況と脱炭素化への課題

- マルチマテリアルを使用した『木材+H形鋼』のリサイクルに関する記述はなかった。

## 6. 炭素繊維強化プラスチックで補強した集成材 (AFRW) の補強材料配置の影響

論文タイトル	炭素繊維強化プラスチックで補強した集成材 (AFRW) の補強材料配置の影響
URL	<a href="https://www.jstage.jst.go.jp/article/jwrs/65/3/65_148/_pdf">https://www.jstage.jst.go.jp/article/jwrs/65/3/65_148/_pdf</a>
出展	木材学会誌 Vol. 65, No. 3, p. 148 – 157 (2019)
発行時期	2019年
著者	水田悠生 (1)、長瀬諭司 (1)、尾崎大介 (1)、野口昌宏 (2)
所属組織	(1) 帝人 (2) 高知大学
組織の概要	帝人は本社を大阪市北区に置く、日本の繊維事業者。炭素繊維・複合材料、アラミド繊維などの高機能繊維の開発、製造、販売を行っている。 2020年度の売上: (連結) 8,365億12百万円、(単独) 1,100億27百万円 従業員数: (連結) 21,090人、(単独) 2,800人

### 文献概要

- 2000年以降、FRPで補強した集成材 (AFRW) がアメリカやヨーロッパで盛んに開発されており、国内でも2000年頃にAFRWの開発事例がある。成熟した国産材の利用促進や中高層建築を含めた一般建築物の木造化の流れを受けてAFRWの開発研究に再び取り組み始めた。
- 本件では、CFRPの配置、AFRW端部の接合部加工に配慮した、AFRWを作成し試験を行った。1.5倍以下の曲げ剛性補強効果を期待する場合は集成材の引張側にのみをCFRPで補強することが合理的であり、一方、1.7倍以上の曲げ剛性補強効果を期待する場合は、集成材の引張側と圧縮側の両方にバランスよくCFRPで補強することが合理的であることが分かった。
- また、本論文で提案したAFRWは、曲げ剛性と強度ともに十分な補強効果が期待でき、その上で接合部加工時の付加価値を加えられることが実験的に明らかとなった。

# 6. 炭素繊維強化プラスチックで補強した集成材 (AFRW) の補強材料配置の影響

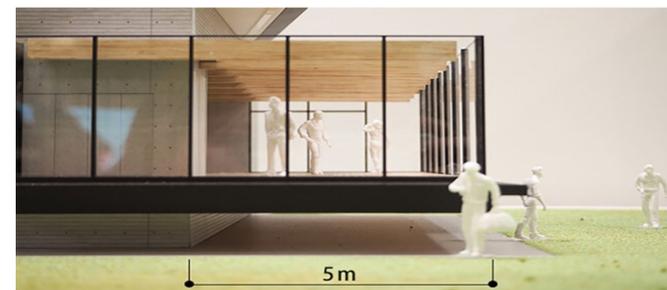
## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (1) 使用用途

建築物種類	モデルハウス
使用部位	天井梁

- 帝人は、炭素繊維で補強した木造建築物用集成材「AFRW (Advanced Fiber Reinforced Wood)」を使用したモデルハウスを2019年に自社の東京研究センター内に建設している。
- AFRWは、2015年に帝人が開発した炭素繊維を用いた複合材料を集成材に貼り合わせたものであり、剛性は木材の2倍以上となる。
- 建物の特徴は、5mにわたって床を張り出させたオーバーハング構造であり、室内に柱を設置せず、自然光を効果的に取り組むことで、開放的で快適性の高い空間としている。これは軽量・高強度のAFRWの採用によって実現している。
- 建設は、前田建設工業及び高知大学 構造工学研究室の協力を得て行っている。

### < 建物外観・内観 >



(出所: <https://kidetatetemiyou.com/sodateru/article43.html>)

出所: [https://www.teijin.co.jp/news/2019/20191127\\_2306.html](https://www.teijin.co.jp/news/2019/20191127_2306.html)

# 6. 炭素繊維強化プラスチックで補強した集成材 (AFRW) の補強材料配置の影響

## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (2) 使用材料と使用要因

部位	天井梁
使用材料	木材+CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic: 炭素繊維強化プラスチック)

- ・ 近年、建築物の安全性に対する要求の高まりを受け、地震による建築物の揺れを低減するため、木質構造による軽量化への期待が高まっている。また、木質材料は、質感(ぬくもり)や意匠性などの外観性、快適性に加え、CO2を吸収保持することによる温暖化対策への効果も期待できるため、SDGsの観点からも将来性が注目されている。
- ・ しかし、木材は鉄筋コンクリートや鋼材に比べ、剛性・強度値が小さい。特に、大きなスパンを架構する場合には、梁の撓みで設計が決まり、建築の平面プランや階高、建築費用に影響を与える場合も多い。建築設計のプランやデザインの自由度を高めるためには、木質軸材料の高剛性・高強度化が必要である。
- ・ そこで、CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic: 炭素繊維強化プラスチック)を木材に貼り合わせた集成材AFRWを開発した。炭素繊維を使用したAFRWは、木材の2倍以上の曲げ剛性を有しており、梁などに用いると建築物の耐久性や意匠性を向上することができる。
- ・ AFRWのコストは、剛性を2倍に高めると数割アップとなるが、柱や梁の数が減らせるため、トータルでは大きく変わらない。現状は剛性を上げることに主眼を置いているため炭素繊維を用いているが、今後はアラミド繊維の活用も出てくるとのことである。



(出所: <https://www.maeda.co.jp/news/2018/09/25/4904.html>)



(出所: [https://www.teijin.co.jp/csr/vision/pdf/disaster\\_prevention.pdf](https://www.teijin.co.jp/csr/vision/pdf/disaster_prevention.pdf))

# 6. 炭素繊維強化プラスチックで補強した集成材 (AFRW) の補強材料配置の影響

## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

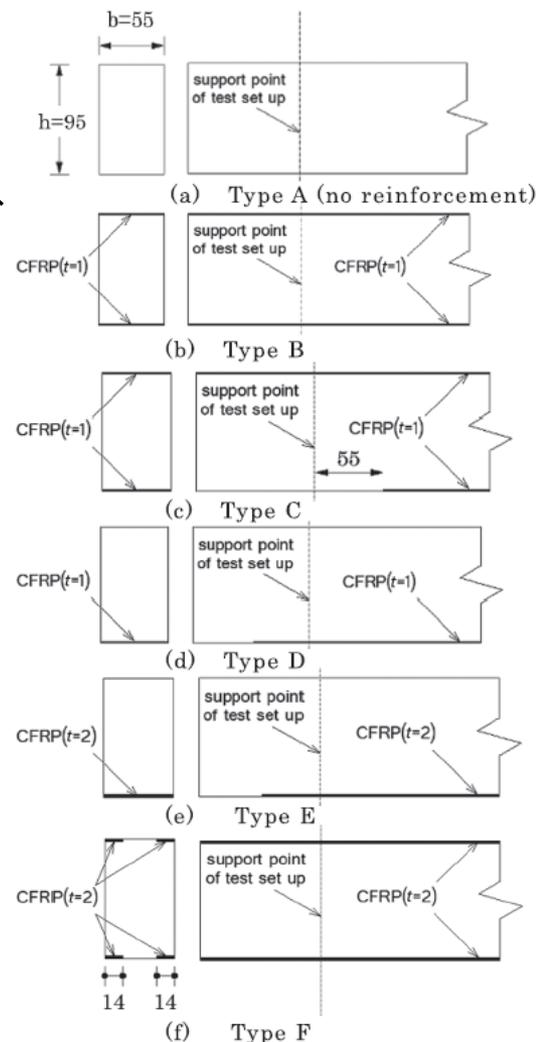
### (4) 技術の概要

- 現状、AFRWは剛性を上げることを主眼に置いている為、CFRPを使用しているが、AFRWのコストメリットを最適化する為、使用するCFRP量を最小化する必要がある。
- これまで効果的なCFRPの配置設計に関する知見がないこと、また、過去に帝人が行った技術開発では、引張側と圧縮側共にバランスよくCFRPで補強していた。しかし、海外のほとんどの報告では、引張側のみをCFRPで補強し、圧縮側にはCFRPを配置しない構成ばかりであった。また、引張側のみを補強した場合と、圧縮側と引張側共に補強した場合との比較や補強効果の効率の報告も見当たらなかった。
- 本研究では、上記2つの課題を解決して、効果的なCFRP配置設計でAFRWの低コスト化を目的とした。また、CFRPの配置を工夫し、難加工材であるCFRPを避けながら梁端部の接合部加工が可能なAFRWを作成して実験を行い、AFRWの曲げ性能とCFRPの配置と使用量について検討した。
- CFRPと集成材の接着は、水性高分子イソシアネート系接着剤で圧縮圧0.98MPa、圧縮時間1時間で圧縮接着した。

#### <実験モデルの条件>

タイプ	条件
A	無補強の集成材
B	引張り側と圧縮側両方をCFRPで補強した。
C	引張り側と圧縮側両方をCFRPで補強した。但し引張側のCFRPの長さを短くした。
D	引張側のみをCFRPで補強した。
E	引張側のみをCFRPで補強した。但し、CFRPの厚さを2倍にした。
F	一般的なガセット版挿入ドリフトピン接合部を想定して、スリット加工が必要なAFRWの幅方向の中央部にCFRPが配置されていない構成とした。

#### <実験モデル>



# 6. 炭素繊維強化プラスチックで補強した集成材 (AFRW) の補強材料配置の影響

## 2. 計測技術 (上記部素材技術に対するDX検討状況と課題)

### <実験方法>

- 前記の実験モデルを用いて、曲げ試験を行った。
- 曲げ試験は、油圧式強度試験機を用いて、3等分2点载荷方式の4点曲げ試験とした(スパン-梁せい比は18)。
- 試験は、各タイプ4体ずつ、合計24体の破壊試験を行った。撓み計測は、両支持点でのめり込みを補正するため、スパン中央の曲げたわみと両支持点での木材の沈下量をひずみゲージ式変位変換機でそれぞれ計測し、それらの差を撓みとした。

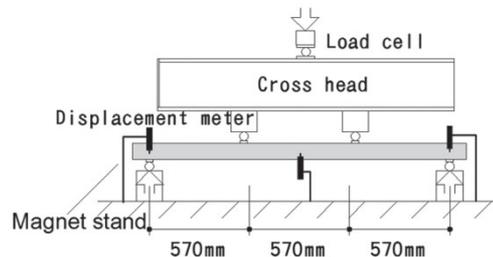
### <測定内容>

- 上記の方法で曲げ試験を行い、荷重変位曲線、等価ヤング率、等価強度、終局撓み量を測定した。

### <実験結果>

- 炭素繊維強化プラスチックで補強したAFRWの低コスト化を検討するために、補強材料の配置を変えて曲げ試験を行った結果、以下のことが判明した。
  1. CFRPで補強したAFRWは、無補強の集成材と比べて、等価ヤング率は1.47倍～1.99倍、等価強度は2.36倍～2.73倍、終局撓み量は1.40倍～3.00倍と大きな補強効果が認められた。
  2. 1.5倍以下の曲げ剛性補強効果を期待する場合は集成材の引張側のみをCFRPで補強することが合理的であり、一方で、1.7倍以上の曲げ剛性補強効果を期待する場合は集成材の引張側と圧縮側の両方をCFRPでバランスよく補強することが合理的であることが分かった。
  3. 本論文で新しく提案した、難加工材であるCFRPを避けながら端部の接合部加工が可能なAFRW (Type CとType F) は、端部までCFRPを配置したAFRWと比較しても、曲げ剛性と強度ともに十分な補強効果が期待でき、その上で接合部加工時の付加価値を加えることができることが実験的に明らかとなった。
  4. 等価ヤング率は、複合材料の理論式で推定できることが分かった。等価強度は、引張側のみ考慮した破壊仮定において、複合材料の理論式で推定できることが分かった。

### <曲げ試験概略図>



## 6. 炭素繊維強化プラスチックで補強した集成材 (AFRW) の補強材料配置の影響

### 3. 環境に対する取り組み (前記部素材技術に対する LCA、資源循環性の検討状況と脱炭素化への課題)

- AFRWを採用したモデルハウスは、国土交通省から2017年度の「サステナブル建築物等先導事業(木造先導型)」に採択されている。
- なお、マルチマテリアルを使用した『木材+CFRP』のリサイクルに関する記述はなかった。

論文タイトル	RETROFITTING HIGH-RISE STRUCTURES USING FRP COMPOSITE MATERIALS
URL	<a href="https://cdn.ymaws.com/www.icri.org/resource/resmgr/crb/2015septoct/CRBSeptOct15_White.pdf">https://cdn.ymaws.com/www.icri.org/resource/resmgr/crb/2015septoct/CRBSeptOct15_White.pdf</a>
出展	The International Concrete Repair Institute (ICRI)
発行時期	2015年
著者	DAVID WHITE Sika Coporationのテクニカルサービス担当副社長
所属組織	Sika Coporation
組織の概要	Sika Coporationは、スイスのバールに本社を置き、建設用・工業用化学製品の市場において世界的な規模で活躍する企業である。

## 文献概要

- 繊維強化プラスチック(FRP)複合材料は、従来(単独)の材料と比較して、高強度、軽量、非腐食性、高い耐久性を持ち、設置が容易など、優れた物理的および機械的特性を有している。
- FRPは、橋梁、ダムなどの様々なインフラ構造物に使用されている。また、マンションやオフィスビルなどの高層建築物のファサード(外装)の改修、耐震強化、建物のリフォーム補強、爆風耐性強化などの用途においても使用されている。
- 複合材料の一般的な繊維の種類は、炭素繊維、ガラス繊維、およびアラミド繊維である。また、高分子マトリックスには、エポキシ樹脂が、建設材料との粘り強い結合、優れた耐久性特性を有していることから使用されている。

## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (1) 使用用途

建築物種類	目的	使用部位
テキサス州ヒューストンの官庁ビル	改修	外装(梁、バルコニー)
ワシントンDCのオフィスビル	耐風補強	スラブ(床)
ニューヨークのマンション	リフォーム補強	スラブ(床)
カリフォルニア州の診療所オフィスタワー	耐震補強	梁

<テキサス州ヒューストンのダウンタウンにある10階建ての官庁ビル>



<ワシントンDCのにある鉄筋コンクリートのオフィスビル>



## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (1) 使用用途

#### <官庁舎のファサード(外装)の改修>

- テキサス州ヒューストンのダウンタウンにある10階建ての官庁舎(RC造)の外装(梁、バルコニー)の改修にCFRPが使用された。
- この建物は、1978年に建設された、ポストテンションコンクリート梁と鉄筋コンクリートスラブのRC構造である。近年、破砕やひび割れなどの兆候が見られ、コンクリート片が緩んで脱落している。また、サンシェード梁(sunshade)\*の周囲も劣化の兆候を示していた。
- ファサード(外装)の改修を行うため、先ず、建物の包括的な検査を行い、その後、劣化したコンクリートとエンドキャップ(Endcap)の取り外しと交換、亀裂のエポキシ注入、表面に塗布された腐食防止剤の塗布、外部シーラントとグレーディングガasketの取り外し/交換など、一連のコンクリート修理ソリューションが実施された。さらに、建物のファサードとサンシェードおよびアウトリガーの梁を修理および強化するために、一連のFRP修理が行われた。
- 炭素繊維強化ポリマー(CFRP)ファブリックは、サンシェード梁の長さに沿って縦方向に取り付けられた。また、せん断補強のため、既存の亀裂と交差するように、±45-degree, double-bias(CFRP)ファブリックがウェブの両面に取り付けられた。CFRPファブリックは、コーナーの安定性を高めるためにアウトリガー梁にも使用された。
- FRPの修理後、ファサードに対する保護と美観を向上させるために、ファサード全体にエラストマーによる酸化防止コーティングが行われた。

\*サンシェード梁(sunshade)はスラブの一種で、窓やドアの上に作られている。雨や日光の強い熱からドアや窓を守る。

#### <サンシェード梁にCFRPファブリックを設置>



#### <CFRPファブリックが梁の接合部を安定させた>



## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチ材料化の現状と課題の把握・整理

### (1) 使用用途

#### <オフィスビルの耐風強化>

- ワシントンDCのメトロポリタンにある600,000ft<sup>2</sup> (55,740 m<sup>2</sup>)の鉄筋コンクリートのオフィスビルの耐風強化にCFRPが使用された。
- 同物件は、LEEDゴールド認定を取得するために、中核の改修が行われた。さらに、国防総省(DOD)、司法省(DOJ)、および一般サービス管理(GSA)の安全要件を満たすために、耐風強化された。
- 建物の改修には、建物のコア、システム及び建物外装が撤去され、新しいプレキャストコンクリートカーテンウォールに置き換えられた。
- 建物の爆風強化耐性を強化するために、CFRPが使用された。コンクリートの天井とスラブ全体が、事前に硬化された炭素繊維ラミネートで補強された。
- 新しいカーテンウォールシステムを交換する前に、周囲のスラブの端をCFRPファブリックで補強した。さらに、せん断補強するため、柱周囲のスラブにCFRPファブリック・ラミネートが設置された。
- この建物を強化およびアップグレードするため、合計で、28マイル(45 km)のCFRP硬化ラミネートと25,000 ft<sup>2</sup> (2325 m<sup>2</sup>)のCFRPファブリックが設置された。

<CFRPラミネートで  
爆風強化された屋根スラブ>



<周囲のスラブの端を  
CFRPファブリックで補強>



<柱周囲のスラブに  
CFRPラミネートが設置された>



## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (1) 使用用途

#### <マンションのリフォーム>

- ニューヨーク市のセントラルパークウエストにあるマンションのリフォーム補強にCFRPが使用された。
- 建物内部のリフォームを行う場合、鉄筋コンクリートのスラブや壁などの構造要素を変更すると、荷重経路が変化し、建物の安全性に影響を及ぼす可能性がある。
- 変更領域を補強する方法の1つとし、改良によって変化した荷重を支えるために構造梁を追加する方法がある。この方法は、構造的には安全であるが、新しい梁を設置するスペースを確保することが困難であり、隠すことができず、完成したスペースの機能性と美観を損なうため、望ましくない場合が多い。
- 別の方法としては、FRPプレートやCFRPロッドを使用する方法があげられる。例として、ニューヨーク市のセントラルパークウエストにあるマンションにおいて、上下のフロアの2つの部屋を1つにまとめ、2つの部屋を直接アクセスできるように、新しい八角形の階段を追加した。床スラブを切断する前に、一連のCFRPプレートを、上面と下面の両方のコンクリートスラブにエポキシ樹脂で接着した。開口部の周囲にCFRPプレートを設置することによって、応力が分散され、新しい構造梁を必要とせず新しい階段を設置することができた。

#### <CFRPラミネートで補強されたスラブの八角形の開口部>



Fig. 10: Octagonal cut-out in slab reinforced with CFRP laminates

## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (1) 使用用途

#### < 診療所タワーの耐震補強 >

- カリフォルニア州ビバリーヒルズにある11階建ての診療所タワーの耐震補強にCFRPが使用された。
- この鉄筋コンクリートの建物は1963年に建てられ、2014年ー2015年に耐震補強された。
- 建物のいくつかの主支持梁にせん断亀裂が確認された為、長期間にわたる動きの測定に亀裂モニターを設置した
- 構造亀裂は、低粘度エポキシ樹脂で圧力注入され、空隙を埋めた。また、建物をさらに安定させるために、新しいコンクリートせん断壁が追加された。さらに、コンクリート梁をCFRPでUラップ(U-Wrap)して、せん断補強を強化し、延性を高めた。特別に設計されたCFRPロープが設置され、スラブを介した接続をサポートした。

#### < 耐震補強のため、CFRPファブリックと「ロープ」アンカーで包まれたコンクリート梁 >



## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (2) 使用材料と使用要因

建築物種類	使用部位	使用材料
テキサス州ヒューストンの官庁ビル	外装(梁、バルコニー)	鉄筋コンクリート+CFRPファブリック
ワシントンDCのオフィスビル	スラブ(床)	鉄筋コンクリート+CFRPファブリック
ニューヨークのマンション	スラブ(床)	鉄筋コンクリート+CFRPファブリック+CFRPラミネート
カリフォルニア州の診療所オフィスタワー	コンクリート梁	鉄筋コンクリート+CFRPファブリック+CFRPロープ

- FRPは、従来(単体)の材料と比較して、高強度、軽量、非腐食性、高耐久性、および設置の容易さなどの多くの利点がある。
- FRPは、橋やダムなどの土木構造物に使用されるだけでなく、マンションやオフィスビルなどの高層建築物の外装(梁、バルコニー)の改修、耐風強化、リフォーム、耐震補強などの用途においても使用されている。
- 建物の修理に使用される複合材料には、炭素繊維、ガラス繊維、アラミド繊維が使用されている。
- また、ポリマーにはエポキシ樹脂が接着性、耐久性に優れていることから一般的に使用されている。
- FRPは、建物の構造要素の強化だけでなく、地震、風の耐久性を向上させるために使用されている。

< 新規建設における壁の強化 >



< 追加荷重をサポートするために、屋根スラブに接着されたCFRPファブリック >



## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (3) 技術の概要

#### <FRPファブリック(SikaWrap)>

- FRPシステムとも呼ばれるファブリック強化システムは、織布またはステッチされた一方向の炭素繊維およびガラス繊維布と含浸樹脂で構成されている。
- FRPファブリック強化システムは、コンクリート、石材、天然石、木材構造などの軽量・高強度化、非腐食性、耐久性の向上に使用されている。

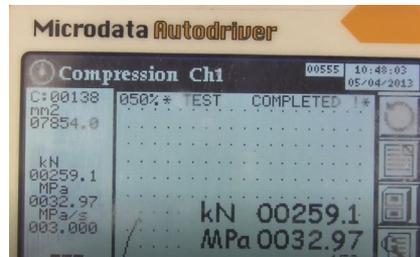
#### <使用目的>

- せん断強化
- 耐震補強
- 基板強化

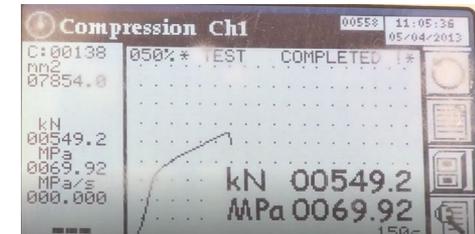
#### <メリット>

- 様々なアプリケーションや環境で長期的なパフォーマンスを維持することができる
- 様々な形状に対応できる。
- 設置は非常に簡単で、施工期間を最小限に抑えられる。

<Sika Wrapで強化されていないコンクリート>



<Sika Wrapで強化されたコンクリート>



出所: Sika CooperationのSikaWrap (<https://www.sika.com/en/construction/structural-strengthening/fiber-reinforced-polymer-fabrics.html>)

## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (3) 技術の概要

#### <FRPの課題>

- 長期的耐久性  
FRPの課題としては、温度だけでなく湿度、アルカリ性溶液に対する長期耐久性があげられる。  
なお、引張強度の低下に関しては、繊維を含む多くの要因に依存する。
- コスト  
CFRPは、高価な為、幅広い用途への利用(普及)が妨げられている。
- 耐火性  
FRPに使用されるガラス繊維、炭素繊維、アラミド繊維は高温での劣化に対して一定の耐性を示すが、高分子マトリックス(エポキシ樹脂など)は、通常、100°C未満で低いガラス転移温度を示す。

出所: A review on embedded fibre-reinforced polymer reinforcement in structural concrete in Europe  
<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0950061821026969?token=7F21ACEE9B48FF035ACAA88C0039403EF73AB663F791069D93E696695C677B8989A7C9F11333893CAF0BED5173740AEE&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220113091114>

## 2. 計測技術（上記部素材技術に対するDX検討状況と課題）

- カリフォルニア州ビバリーヒルズにある11階建ての診療所タワーの耐震補強を行った際に、建物のいくつかの主支持梁にせん断亀裂が確認された為、長期間にわたる動きの測定に亀裂モニターを設置した。

## 3. 環境への取り組み（前記部素材技術に対するLCA、資源循環性の検討状況と脱炭素化への課題）

- FRPは腐食や錆びることがなく、同時に建材の高強度化と軽量化が行える。これにより、耐久性が向上し、梁・柱、スラブなどの軽量化やコンクリート使用量の削減が行える。
- 現在、世界の炭素排出量の約5-7%を占めるセメント生産に関して、FRP補強材を使用することにより、炭素排出量を削減することが期待できる。

出所: A review on embedded fibre-reinforced polymer reinforcement in structural concrete in Europe  
<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0950061821026969?token=7F21ACEE9B48FF035ACAA88C0039403EF73AB663F791069D93E696695C677B8989A7C9F11333893CAF0BED5173740AEE&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220113091114>

## 8. Seismic upgrading of existing reinforced concrete buildings

論文タイトル	Seismic upgrading of existing reinforced concrete buildings: A state-of-the-art review
URL	<a href="https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0141029621004235?token=D1C8F23FB312A59D947075B497BD7A3C5D116A55C26F5F7B89D20E3B4B4A3E38CF7EA6E9CE68876A01F2B805D7F77446&amp;originRegion=eu-west-1&amp;originCreation=20220113090911">https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0141029621004235?token=D1C8F23FB312A59D947075B497BD7A3C5D116A55C26F5F7B89D20E3B4B4A3E38CF7EA6E9CE68876A01F2B805D7F77446&amp;originRegion=eu-west-1&amp;originCreation=20220113090911</a>
出展	Engineering Structures Volume 240
発行時期	2021 年8月
著者	P.D.Gkournelosa, T.C.Triantafilloua, D.A.Bournasb
所属組織	<ul style="list-style-type: none"> <li>•University of Patras, Greece</li> <li>•European Commission, Joint Research Centre (ISPRA), Italy</li> </ul>
組織の概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>•University of Patras, Greece ギリシャのパトラスにある公立大学であり、生徒数の規模でギリシャで3番目に大きい大学である。</li> <li>•European Commission, Joint Research Centre (ISPRA), Italy イスプラ(イタリア)の合同調査センターは、ブリュッセルとルクセンブルグに次ぐ3番目に大きな欧州委員会である。1960年に核研究所として設立され、現在では多くの研究所と独自の研究設備が備えている。</li> </ul>

### 文献概要

- 強い地震の際の既存建物の倒壊や損傷は、重大な経済的損失、重傷、人命の損失をもたらす。一方、耐震基準の導入が遅れており、既存の設計が不十分な建物が多数あることを考えると、科学的関心は、既存の建物の耐震改修技術の開発に焦点が当てられる。
- 現状、鉄筋コンクリート(RC)建物が既存の建物の大部分を占めるため、本論文は、その建物を対象とした耐震改修技術のレビューを提供することを目的としている。
- 改修方法は、個々の要素を強化する『ローカル対策』と、構造全体に作用する『グローバル対策』の2つの異なるカテゴリに分けられる。従来技術と新しい技術の両方が議論されるが、特に後者について記載する。

# 8. Seismic upgrading of existing reinforced concrete buildings

## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (1) 使用用途

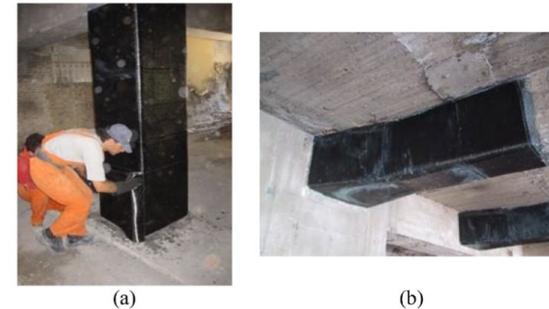
建築物種類	・RC建物
使用部位	・梁、柱、壁、床、結合部材

- RC建物の耐震改修を目的として、梁、柱、壁、床、結合部に、鉄筋コンクリート+鋼ジャケット、鉄筋コンクリート+CFRP（炭素繊維強化プラスチック）、鉄筋コンクリート+TRM（テキスタイル強化モルタル）を使用している。

<鋼ジャケットによる耐震強化>



<CFRPによる耐震強化>



<TRMによる耐震強化>



# 8. Seismic upgrading of existing reinforced concrete buildings

## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (2) 使用材料と使用要因

鉄筋コンクリート(RC)建物の耐震補強は、個々の要素を強化する『ローカル対策』と、構造全体に作用する『グローバル対策』に分けられる。

#### ①ローカル強化技術(局所的な改修)

部位	・梁、柱、床、壁、結合部材
使用材料	<ul style="list-style-type: none"> <li>・鉄筋コンクリート+モルタル(繊維強化モルタル)ジャケット</li> <li>・鉄筋コンクリート+鋼ジャケット</li> <li>・鉄筋コンクリート+FRP(CFRP、GFRP、BFRP、AFRP)</li> <li>・鉄筋コンクリート+TRM(テキスタイル強化モルタル)</li> </ul>

- ・ ローカル強化技術は建物の機械的特性を強化するために、建物の特定の構造要素に適用される対策である。
- ・ 既存の梁、柱、接合部材に外部補強材を追加することで、その曲げ能力、せん断能力と延性などを向上させる。
- ・ 従来の技術は、モルタルや鋼などが使用されているが、近年、繊維強化プラスチック(FRP)、テキスタイル強化モルタル(TRM)などが採用されている。

# 8. Seismic upgrading of existing reinforced concrete buildings

## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (2) 使用材料と使用要因

#### 1) 鉄筋コンクリート(RC)+モルタルジャケット(RC/mortar Jacketing)

- RC部材の耐震補強の一つで、最も伝統的な手法である。
- 柱や梁などの構造材にRCジャケットを構築する手法であり、断面積を拡大し、縦方向と横方向の両方の補強を増加させる。この技術は、部材の曲げ及びせん断能力とその延性を大幅に向上させることができる。さらに、寸法の増加と追加の曲げ補強により、構造材の曲げ剛性も増加する。
- 近年、従来のモルタルの代わりに、繊維強化セメント系複合モルタル(HPFRCC)など耐久性や機械的特性に優れた材料が使用されている。
- 繊維強化セメント系複合モルタル(HPFRCC)は、腐食損傷を受けている場合でも、柱の強化が行える点が利点である。せん断及び曲げ亀裂の減少、力-変位挙動の向上、エネルギー分散の向上、剛性の低下を抑制する。また、超高強度繊維補強コンクリート(UHPRC)は、結合の失敗と損傷を排除することができる。
- その他に、フェロセメント (Ferro Cement)、高靱性繊維補強セメント複合材料(ECC)、高強度マイクロコンクリートなどが使用されている。
- 鉄筋コンクリート+モルタルジャケットの利点及び欠点としては以下があげられる。

#### <鉄筋コンクリート+モルタルジャケットの特徴>

利点	欠点
<ul style="list-style-type: none"> <li>・強度と延性の向上が行える。</li> <li>・様々な形状に適応可能。</li> <li>・エンジニアと労働者の両方が精通している材料を使用している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・労力と時間を要する。</li> <li>・断面サイズの増加による床面積が減少する。</li> <li>・強度が向上するが脆さがある</li> <li>・環境負荷が高い材料(コンクリートや鉄鋼など)を使用している(CO2排出量、製造における多くのエネルギーの消費)</li> </ul>

# 8. Seismic upgrading of existing reinforced concrete buildings

## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (2) 使用材料と使用要因

#### 2) 鋼ジャケッ(Steel Jacketing)

- 鋼は既存のRC構造を強化するため、外部補強として使用されている。
- スチールアングルとプレートを組み合わせて、RCの周りにケージを形成するため、曲げ強度とせん断強度だけでなく、延性と剛性が向上する。
- なお、鋼ジャケッ技術を使用してRCを強化することは、あまり一般的ではないが、特定の場合に優れたソリューションを提供できる。

< 鉄筋コンクリート+鋼ジャケッの特徴 >

利点	欠点
<ul style="list-style-type: none"> <li>・強度と延性の向上。</li> <li>・エンジニアと労働者の両方が精通している材料を利用。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高価、労力と時間を要する</li> <li>・断面サイズの増加による床面積が減少する。</li> <li>・腐食防止が必要となる。</li> <li>・重量が増加する。</li> </ul>

< 鋼ジャケッによる耐震強化 >



## 8. Seismic upgrading of existing reinforced concrete buildings

### 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

#### (2) 使用材料と使用要因

##### 3) 繊維強化複合材 (FRP) ジャケット

- 近年、RC構造の耐震補強に繊維強化プラスチック (FRP) が使用されている。
- FRPは従来のモルタルジャケット、鋼ジャケットと比較して、施工期間の短縮、省力化、高耐久、軽量・高強度化が行える。
- 但し、FRPはモルタルジャケット、鋼ジャケットと比較すると耐熱性が低く、保護材が必要となる。また、オープンジャケット (例: TビームのU字型ジャケット) の場合、FRPの高強度の有効利用率が低い可能性がある (例: 35%程度)。

##### < 繊維の種類 >

- FRPに使用される繊維には、炭素繊維、ガラス繊維などが使用されているが、耐震補強には、炭素繊維強化プラスチック (CFRP) が使用されている。
- CFRPは、高い弾性率と優れた耐久性を有するが、高価な素材でもある。低コストの材料として、ガラス繊維 (GFRP) を使用することも可能であるが、ガラス繊維は炭素繊維と比較して、弾性率が約3分の1であるため、より多くの材料が必要となる。また、アラミド、玄武岩、ポリエステル、ポリパラフェニレンベンゾビスオキサゾール (PBO)、およびポリエチレンテレフタレート (PET) など使用可能であるが、一般的ではない。

##### < FRPによる補強方法 >

FRPは通常、外部接着補強 (EBR) としてRC部材強化の用途で使用され、以下の2つの方法で適用できる。

- FRPファブリックを使用し、エポキシ樹脂により、コンクリート基板に取り付ける方法が最も使われている。
- FRPのラミネート、ストリップ、またはバーの形で使用する方法。既存の構造要素の外部の縦方向または横方向の補強材として機能し、曲げまたはせん断能力を高めることができる。適用部位は、外部、RC部材の面、または内部の溝のいずれかになる。この場合、表面に取り付ける (NSM方式)。

なお、耐震補強では、せん断補強材としてFRPをシートで使用する場合に最も効果的であることが証明されている。

# 8. Seismic upgrading of existing reinforced concrete buildings

## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (2) 使用材料と使用要因

#### 3) 繊維強化複合材 (FRP) ジャケット

- FRPによる補強方法例を以下に示す。

<(a) RC柱をCFRPで包む (b) RC梁をCFRPで包む (c) RCせん断壁をGFRPで包む>



(a)



(b)



(c)

<(a) FRPラミネートによる曲げおよびせん断強化 (b) NSM補強による曲げ強化>



(a)



(b)

## 8. Seismic upgrading of existing reinforced concrete buildings

### 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

#### (2) 使用材料と使用要因

#### 3) 繊維強化複合材 (FRP) ジャケット

##### <FRPの欠点>

- エポキシ樹脂などマトリックス樹脂は耐熱性が低く、高温(ガラス転移温度 $T_g$ を超える)では動作が悪いため、火災時にアクティブな状態を維持する必要がある場合は、FRP補強材で保護する必要がある。
- 樹脂は危険物であるため、通常の温度で、経験豊富な作業員が、清潔で乾燥した表面に塗布する必要がある。
- FRPジャケットは内部コンクリートの損傷を隠すため、地震後に確認・点検を実施することが困難である。

## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (2) 使用材料と使用要因

#### 4) Textile Reinforced Mortar (TRM) ジャケット

(別名: Textile Reinforced Concrete (TRC) もしくは Fiber Reinforced Cementitious Matrix (FRCM))

- TRM(テキスタイル強化セメントモルタル)は、コンクリート・モルタルに炭素繊維、ガラス繊維などのテキスタイルを貼り付ける方法である(コンクリート・モルタル/テキスタイル/モルタル)。
- TRMは、樹脂を使用しない為、高温での強化材料としてFRPよりも優れた性能を有する。火にさらされた後の機械的挙動も優れている。

#### 5) ハイブリッド (Hybrid) ジャケット

様々な強化技術を組み合わせることで、より効率的な改造方法を設計および実現できる。

- FRP+TRMジャケット  
一般的なハイブリッド方法は、FRPとTRMジャケットのNSMストリップ法による組み合わせである。このシステムは、部材の寸法に影響を与えることなく、曲げおよびせん断を強化する。
- FRPと鋼ジャケット
- 鋼/FRPおよび高性能材料(モルタル)



(a)



(b)



(a)



(b)

< (a) RC柱にTRMジャケットの適用 (b) RC梁TRMジャケットの適用 >

< (a) NSMストリップと(b) TRMジャケットの組み合わせ >

## 8. Seismic upgrading of existing reinforced concrete buildings

### 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

#### (2) 使用材料と使用要因

##### ② グローバル強化技術

- 建物の横荷重容量または構造物の剛性を大幅に増加させる必要がある場合、局所的な改修措置だけでは不十分である又は、最終的な改修計画が不経済になるほどの長期間になる可能性が高くなる。そのような場合、グローバルな対策が採用される。
  - ・ブレースシステムの追加  
鋼製ブレースを設置することにより、既存の構造に強度と剛性を補強する。偏心ブレースはエネルギーを分散し、座屈抑制ブレースは圧縮部材の座屈故障を回避するために使用される。
  - ・RCせん断壁の追加  
RCせん断壁を追加する(新しい要素または既存のフレームを埋める)ことにより、構造物の耐震補強を行う。しかし、構築時の初期の欠陥への対応は難しい。ロックンウォールは、損傷が最小限であり、エネルギー分散デバイスと組み合わせることにより構造応答を制御することができる。
  - ・インフィル(レンガ壁)の補強  
非強化組積造(レンガ造)(URM)の耐震補強では、インフィル(レンガ壁)を補強する。  
インフィル(レンガ壁)の補強材としては、高靱性繊維補強セメント複合材料(ECC)、FRP、TRMなどが使われる。  
TRMで強化された組積造のインフィルは、組積造の性能を向上させ、横方向の耐荷重を強化する。FRPで強化された組積造のインフィルと比較すると、エポキシ樹脂を使用していない為、より簡単で費用効果が高く、高温での耐火性と性能が向上するという利点がある。

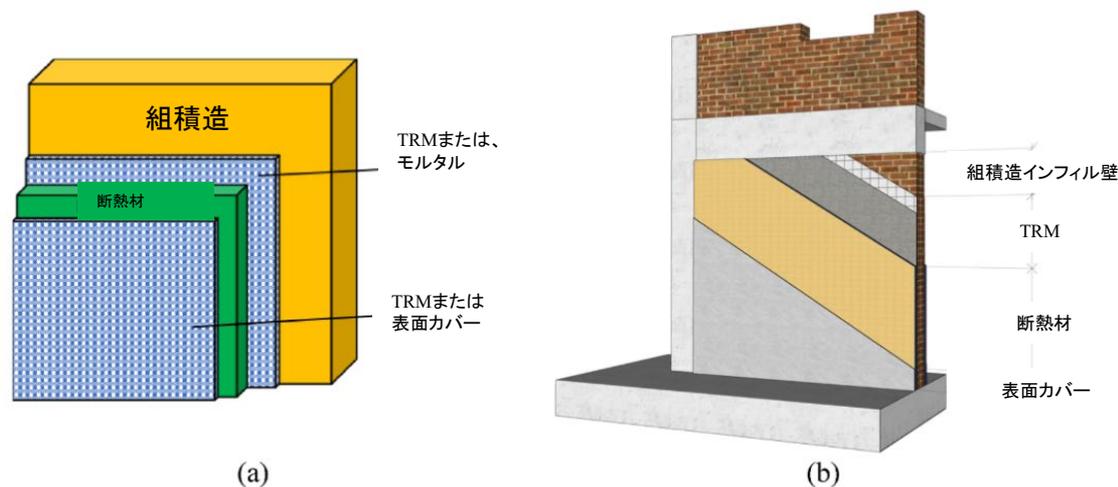
## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (2) 使用材料と使用要因

#### ・TRMジャケットと断熱材との組み合わせ

最近の研究では、耐震補強として、TRMジャケットと断熱材を組み合わせ、建物の壁（組積造のインフィルなど）に使用する方法が提案された。

(a) 組積造 (b) RC建物、地震およびエネルギー改造システムの概略図。



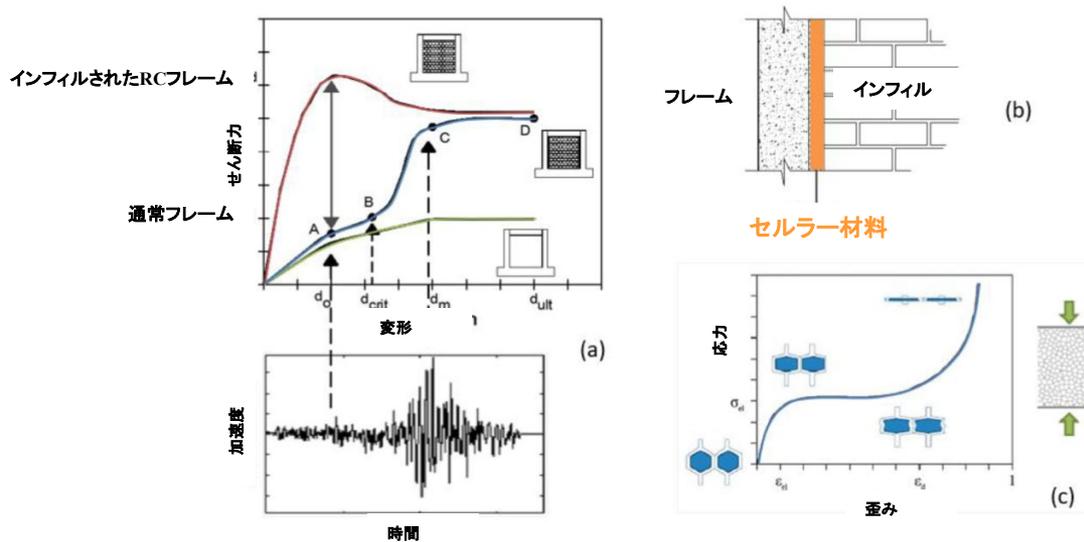
## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (2) 使用材料と使用要因

#### ・分離型組積造のインフィル(Isolated masonry infills)の設置

組積造のインフィルと周囲のフレームとの境界面に变形しやすい気泡セルラー材料(フォーム)を使用してインフィルパネルを分離することにより、耐震性能を向上させる実験および分析を行った。

以下の図では、インフィルが設置されたRCフレームは、低から中程度の地震に対して、通常のフレームと同様に動作する。つまり、周囲の部材との相互作用はごくわずかである。強い地震中にドリフトが大きくなると、セルラー材料が圧縮され、インフィルが斜めの圧縮ストラットとして活性化されるため、強度と剛性が向上する。



(a) セルラー材料を使用した分離によるRCフレームの応答 (b) フレームとインフィルの境界面での細胞材料の配置。  
(c) 一軸圧縮における気泡材料の挙動

# 8. Seismic upgrading of existing reinforced concrete buildings

## 2. 上記部素材技術に対するDX検討状況と課題

- 著者の見解によると、新しい技術によるRC構造物の耐震改修に関する研究はわずかである。
- DX検討状況に関する記載はなかった。

## 3. 環境への取り組み(前記部素材技術に対するLCA、資源循環性の検討状況と脱炭素化への課題)

- 地震が発生しやすい国では、断熱材・耐震建材を組み合わせることにより、耐震性の向上と同時に省エネが行える。
- 地震による損失を抑制し、建物の改修に係る投資回収期間を短縮することができる。

## 9. AISC Steel & Timber Research for High-Rise Residential Buildings

論文タイトル	AISC Steel & Timber Research for High-Rise Residential Buildings
URL	<a href="https://www.som.com/wp-content/uploads/2021/08/2017_timber_tower_som_aisc_report-1633642357.pdf">https://www.som.com/wp-content/uploads/2021/08/2017_timber_tower_som_aisc_report-1633642357.pdf</a>
出展	American Institute of Steel Construction
発行時期	2017年12月
著者	Skidmore, Owings, and Merrill, LLP
所属組織	American Institute of Steel Construction(ASIC) Skidmore, Owings, and Merrill, LLP (SOM)
組織の概要	American Institute of Steel Construction(ASIC) 1921年に設立された、米国の鉄骨構造の基準を定める組織である。 Skidmore, Owings, and Merrill, LLP (SOM) 1936年にシカゴで設立された、米国最大級の建築設計事務所である。

### 文献概要

- 本研究プロジェクトの目標は、高層住宅において、鉄骨フレーム(柱・梁)と複合床版(CLT+コンクリート)システムを組み合わせた構造の実現可能性を検討することである。
- 実現可能性を検討するため、従来のコンクリート構造の建物(以下、ベンチマークビル)と比較した。ベンチマークビルは、カリフォルニアに最近完成した9階建ての高層住宅とした。この建物は、高層住宅の中でも効率的なコンクリート構造を有する建物である。
- 本プロジェクトでは、ベンチマークビルにおける、従来のコンクリート構造と鉄骨フレーム+複合材床システムの比較を行った。

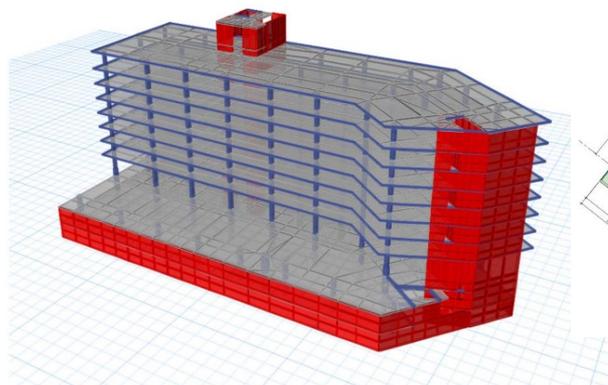
## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (1) 使用用途

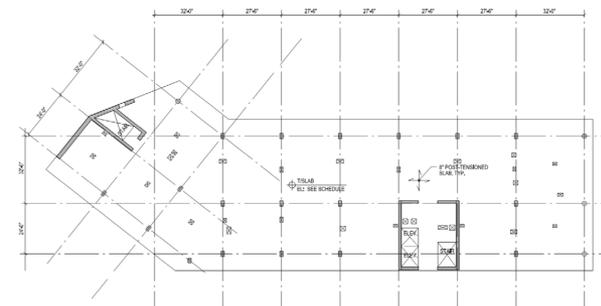
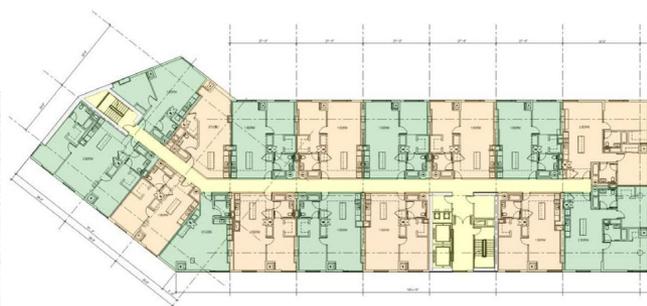
建築物種類	9階建て高層住宅
使用部位	床材 (CLT+コンクリート床版)

- ・ 従来のコンクリート構造を有するベンチマークビル(9階建て高層住宅)を利用して、CLT+コンクリート床版の実現可能性を検討した。本プロジェクトは、実際に建設された物件ではなく、ベンチマークビルを利用して、鉄骨フレームとCLT+コンクリート床版を使用したシステムの実現可能性を検討したものである。
- ・ ベンチマークビルとしては、SOM (Skidmore, Owings, and Merrill) 社が設計したカリフォルニアの9階建ての高層住宅を利用した。この建物は、高層住宅を代表するコンクリート構造物であることからベンチマークビルとして採用した。
- ・ ベンチマークビルの構造は、以下の通りである。

### <ベンチマークのコンクリート建築物、Skidmore, Owings, and Merrill (SOM) 社設計>



SOM Designed Benchmark Concrete Building



出所: <https://www.youtube.com/watch?v=Q0njI-6VBBk>

## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (2) 使用材料と使用要因

部位	床材
使用材料	木材 (CLT)+コンクリート

- 構造材と床版には、各材料の利点を最大化する鉄骨フレーム(柱・梁)とCLT+コンクリート床版を使用した。
- 鉄骨フレームは長いスパンに適し、CLT+コンクリート床版は、その軽量特性を維持しつつ、耐久性、防音、耐火性を付与している。
- この組み合わせによって、平板コンクリート構造と平坦な床・天井の建設条件を満たし、ベンチマークのコンクリート構造とほぼ同じ間隔で柱を設置することができる。なお、木材構造だけで同サイズのビルを建設する場合、より太い梁を使用するか又は、柱の間隔を狭くする必要がある。
- CLT+コンクリート床版は、各材料のプレハブと軽量の利点を維持しながら、平板コンクリート構造と同等の平坦な床・天井にすることが可能である。

<鉄骨フレーム(柱・梁)とCLT+コンクリート床版を使用したイメージ図>



## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (3) 技術の概要

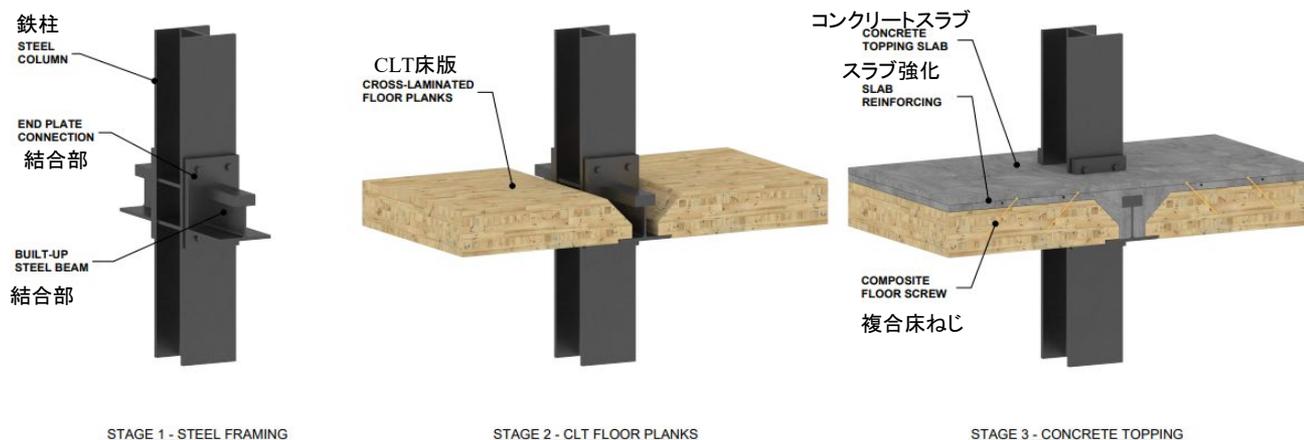
#### <CLT+コンクリート床版>

- CLTの耐久性、防音、および耐火性を強化するために2½インチの厚さのコンクリートスラブで覆っている。
- コンクリートスラブとCLTの接合は、ねじを使用している。

#### <鉄骨フレームとCLT+コンクリート床版との接合>

- CLT+コンクリート床版は、鉄骨梁を使用して連結している。鉄骨梁の形状は、床版の連結を簡単に行えるように非対称(下図及び次ページ参照)としている。
- また、天井を平坦にする(凹凸がない形状にする)為、組立公差を考慮してCLTの形状を工夫した。
- CLT+コンクリート床版との接合は、コンクリート接着を想定している(実際に適用する場合は、テストが必要である)。

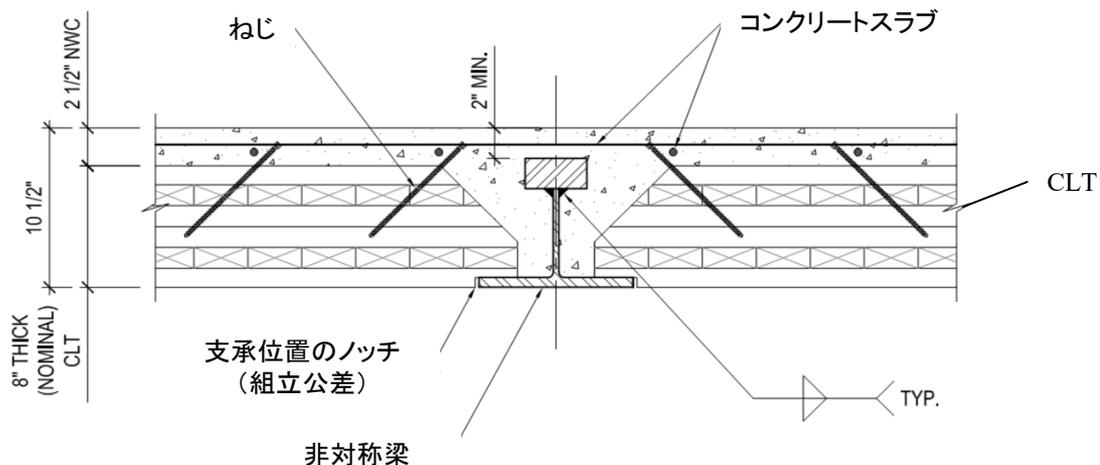
#### <鉄骨フレーム(柱・梁)とCLT+コンクリート床版>



## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (3) 技術の概要

<鉄骨梁とCLT+コンクリート床版の断面図>



## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (3) 技術の概要

本プロジェクトの目標は、高層住宅において、鉄骨フレーム(柱・梁)と複合床版(CLT+コンクリート)構造の実現可能性を判断することである。実現可能性は、設計、保守性、施工性、コストで評価した。

#### <設計>

- 柱の設置間隔は、27'-6" x 24'-3"であり、高層住宅に必要とされる柱の設置間隔よりも大きいサイズである。必要であれば、柱の間隔を小さくすることも可能である。
- 天井は、コンクリート構造と同様にフラット設計が可能であるが、厚さはベンチマークビルのコンクリート平版(厚さ8インチ)よりわずかに厚い(厚さ10.5インチ)。
- 床の貫通は、鉄骨フレーム以外は、どこにでも配置が可能である。
- 外壁は、様々なタイプを設置することができる。

#### <保守性>

- 防音は、コンクリートスラブにフローリング、カーペット、防音マットなどを設置することにより基準を満たした。
- 床システムの防火性は、必要な防火等級に応じて、耐火性を高め、火災試験によって決定する必要がある。
- 耐久性は、構造物の耐用年数を超えると予想される。

#### <施工性>

- 鉄骨フレームと複合床版構造は、コンクリート構造の建物よりも速く施工することができる。これにより、施工期間を短縮することでコストを削減できる。
- 重量は、コンクリート構造の建物の約65%である。

#### <コスト>

- 材料の使用量は、設置する柱の間隔・本数、フラット天井・壁、耐震性を考慮すると、効率的である。
- その他のコストは、コンクリートフレーム構造と同等(10%以内)である。

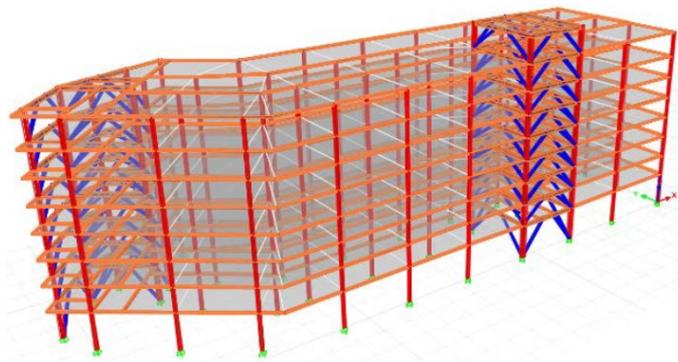
#### <まとめ>

- 本システムの鉄骨フレームと複合床版構造は、軽量でプレハブ構造であることが利点である。
- システムの実際のコストは、プロジェクトの詳細と市場の状況によって異なるが、システムをレビューしている請負業者からの初期価格情報では、本システムが従来のシステムと経済的に競合する可能性があることを示唆している。

## 2. 上記部素材技術に対するDX検討状況と課題

- 解析モデルにより、耐震性を分析した。
- 本プロジェクトでは、耐震補強として偏心ブレースフレーム (Eccentrically braced frame) を採用した。
- 耐震システムについて予備的な分析と設計を行い、ベンチマークビルと比較するために必要とされる鋼材の使用量を推定した。CLT+コンクリート床版の採用により、重量をベンチマークビルの約65%とした。
- CLT+コンクリート床版は、耐震要件を満たすように設計した。CLT+コンクリート床版が構造の一部となり、建物の耐震要件を満たしている。

<耐震システムの解析モデル>



## 3. 環境への取り組み(前記部素材技術に対する LCA、資源循環性の検討状況と脱炭素化への課題)

- 環境への取り組みに関する情報は記載されていない。

# 10. The Hybrid CLT-Steel Residence Hall

論文タイトル	The Hybrid CLT-Steel Residence Hall
URL	<a href="https://www.structuremag.org/wp-content/uploads/2019/07/261908-SF-Hall.pdf">https://www.structuremag.org/wp-content/uploads/2019/07/261908-SF-Hall.pdf</a>
出展	Structuremag
発行時期	2019年8月
著者	David J. Odeh, P.E. Paul Kuehnel, P.E.
所属組織	Odeh Engineers
組織の概要	米国東部全域の建物の設計、分析、評価を専門とする構造エンジニアリングコンサルティング会社である。

## 文献概要

- 米国のロードアイランド州にある6階建ての学生寮は、鉄骨とCLTパネルを使用して建設された。この構造（鉄骨+CLTパネル）は、ニューイングランド地方の学生寮において初めて採用された。
- この建物は、美しいデザイン、環境の持続可能性、短工期というクライアントの要求を満たすことができた。なお、この建物の建設は、3週間以内で行われた。

# 10. The Hybrid CLT-Steel Residence Hall

## (1) 使用用途

建築物種類	6階建ての学生寮
使用部位	床材 (CLT+防音マット+石膏コンクリート)

- 米国のロードアイランド州にある6階建ての学生寮に、鉄骨フレーム+CLT床構造が採用された。
- CLTは、丈夫で軽量、寸法安定性があり、耐火性があるという特性を有する。また、鋼などの支持材(フレーム構造)と組み合わせることにより、壁、床、および屋根として機能することができる。
- 近年、鉄骨フレーム+CLTパネル構造は、米国西部の建設分野において人気が高まっているが、ニューイングランド地方での大規模なプロジェクトでの採用は本物件が初めてとなる。
- ニューイングランド地方は、CLTパネルのサプライヤーが少なく、また、CLTは新技術であるため、他の構造システムと比較した場合、コスト高となる。

<完成する建築物のイメージ写真>



<全体構造>



# 10. The Hybrid CLT-Steel Residence Hall

## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

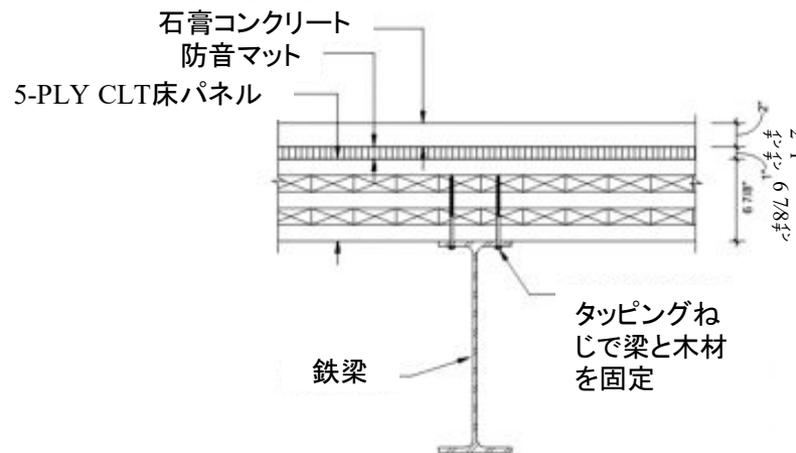
### (2) 使用材料と使用要因

部位	床材
使用材料	木材 (CLT)+防音マット+石膏コンクリート



- 構造材(梁)に鉄骨を使用し、床版にCLT+防音マット+石膏コンクリート+ビニールタイルを使用した。
- 床版は、厚さ6 7/8インチの5層グレードE1CLT床パネルで構成されている。CLTパネルの下側は表面仕上げを行っており、下層の部屋の天井となる。
- 床構造は、振動防止および防音の為、CLTの上側に約1インチの厚さの防音マット、2インチの厚さの石膏コンクリート、最後にビニール合成タイルで構成した。
- CLT床版は、ネジを使用してH形鋼鉄骨梁に固定した。CLTパネルの下側からネジで固定できるように、H形鋼鉄骨梁に穴を開けた。ネジには、直径1/2インチの木ネジを使用した。同様の直径のラグネジと比較して、事前に穴を開ける必要がなく、CLTを固定することができる為、施工期間を大幅に削減することができた。

< 鉄骨梁+CLT床版の断面図 >



# 10. The Hybrid CLT-Steel Residence Hall

## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (3) 技術の概要

#### <CLT床版+鉄骨梁ハイブリッドシステムの利点>

- 持続可能性: CLTは、持続可能な方法で収穫できる苗木から作られている。また、木は光合成過程の一部として二酸化炭素を消費するため、木骨造は大気から炭素を吸収する。
- 耐火性・デザイン性: CLTパネルには、国際建築基準法(IBC)で規定されている炭化効果により、耐火性がある。その性質によって、天井として追加の耐火材料を設置せずに使用できる。さらに、天井乾式壁(Dry Wall)を節約でき、建物の内部に美的外観を与えることができる。
- 短工期: 建設業者は補強なしでパネルのほとんどの配管貫通部を現場で仕上げることができるため、製造業者はプレキャストコンクリート板システムと比較して、工場図面の準備とレビュー時間を大幅に短縮できる。
- 安全性: CLTはチェーンソーを使用してパネルを加工することができる。コンクリートスラブで発生するシリカ粉塵は発生しない。
- 輸送: CLTは軽量であるため(プレキャストコンクリート板=75~80、CLT=19 psf)、複数のCLTパネルを1台のトラックで輸送可能である。これにより、輸送に使用するトラック台数及び必要なステージング作業エリアを削減することができる。

#### <CLT床版と鉄骨梁の接合>

- 鉄骨フレームとCLTパネルの接合は直径1/2インチの木ネジを使用した。
- 木ネジは、同様の直径のラグネジと比較して、事前に穴を開ける必要がなく、CLTを固定することができる。それによって、施工期間を大幅に削減した。

# 10. The Hybrid CLT-Steel Residence Hall

## 2. 上記部素材技術に対するDX検討状況と課題

- DX検討状況に関する記載はなかったが、Odeh Engineers社では、設計の初期段階から、BIMやバーチャルリアリティなどのツールを活用している。

## 3. 環境への取り組み(前記部素材技術に対するLCA、資源循環性の検討状況と脱炭素化への課題)

- CLTは、持続可能な方法で収穫できる苗木から作られている。また、木は光合成過程の一部として二酸化炭素を消費するため、木骨造は大気から炭素を吸収する。持続可能性が建設分野において注目されている。

# 11. Brock Commons Tallwood House : A CASE STUDY

論文タイトル	Brock Commons Tallwood House UNIVERSITY OF BRITISH COLUMBIA VANCOUVER CAMPUS The advent of tall wood structures in Canada A CASE STUDY
URL	<a href="https://cwc.ca/wp-content/uploads/2018/07/CS-BrockCommon.Study_.23.lr_.pdf">https://cwc.ca/wp-content/uploads/2018/07/CS-BrockCommon.Study_.23.lr_.pdf</a> <a href="https://www.naturallywood.com/wp-content/uploads/brock-commons-design-preconstruction-overview_case-study_naturallywood.pdf">https://www.naturallywood.com/wp-content/uploads/brock-commons-design-preconstruction-overview_case-study_naturallywood.pdf</a> <a href="https://wood-rise-congress.org/wp-content/uploads/sites/34/2017/09/2016-07-08-structural-connections-compressed.pdf">https://wood-rise-congress.org/wp-content/uploads/sites/34/2017/09/2016-07-08-structural-connections-compressed.pdf</a>
出展	THE CANADIAN WOOD COUNCIL
発行時期	N/A
著者	THE CANADIAN WOOD COUNCIL
所属組織	THE CANADIAN WOOD COUNCIL
組織の概要	Canadian Wood Council (CWC:カナダ木材製品協議会)は、カナダの建築基準、設計基準、製品規格、試験基準に関連する技術および情報サービスを提供し、カナダの木材製品の需要の増加に取り組んでいる。

## 文献概要

- カナダのブロックコモنزの学生寮(Brock Commons Tallwood House )は、世界初の18階建ての鉄筋コンクリートと木造のハイブリッド構造の建物である。
- 建物全体は、鉄筋コンクリート構造のコア部分と木造部分で構成されており、床にはCLT+コンクリート床版を使用して、建物の強度を確保している。
- 木造部分の柱、床には、マスティンバー(複数の木材を組み合わせて圧縮強度と張力強度を向上させた集成材)を使用している。
- このプロジェクトは、Tall Wood Building Demonstration Initiative(TWBDI)を通じて連邦政府の資金を受けたプロジェクトの1つである。

# 11. Brock Commons Tallwood House : A CASE STUDY

## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (1) 使用用途

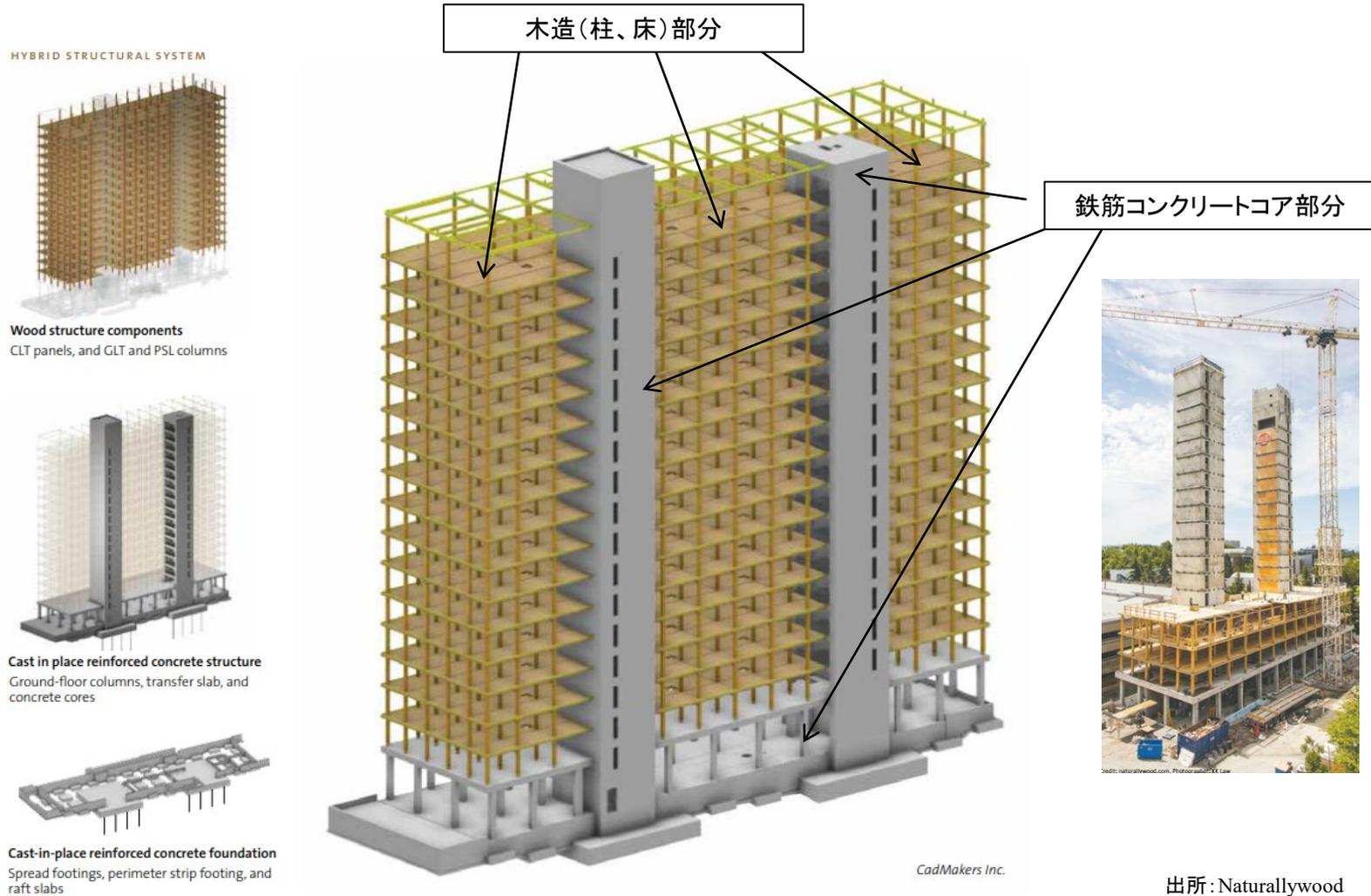
建築物種類	18階建ての学生寮
使用部位	床: 木材+コンクリート+石膏ボード 柱: 木材+石膏ボード 柱、床の接合部: 木材、コンクリート+金属部品、ボルト

- カナダの18階建ての学生寮の床と柱にマルチマテリアルを使用している。また、柱と柱、床と柱の結合に金属部品とボルトを使用している。
- この建物は、マスティンバー(複数の木材を組み合わせて圧縮強度と張力強度を向上させた集成材)と鉄筋コンクリートのハイブリッド構造の建物である。柱や床にマスティンバーを使用することにより、強度を維持しつつ、軽量化を行っている。
- 建物の基礎は、鉄筋コンクリートで構成されており、鉄筋コンクリートの柱は、建物2階の構造スラブを支えている。また、コア部分として、18階建ての鉄筋コンクリート棟が2棟配置されており、ここにエレベーター、階段が設置されている。2棟の鉄筋コンクリート棟と、CLT+コンクリート床版を組み合わせて、建物の強度・安定性を確保している。
- 木造部分の柱にはGLT(Glue laminated timber、接着集成板)またはPSL(Parallel Strand Lumber)を使用し、石膏ボードで被覆している。スラブはCLT+コンクリート床版を使用している。柱と柱、柱と床の接続は金属部品とボルトで結合している。
- 屋根構造は、木材腐敗やカビの発生を軽減し、水漏れなどの構造的損傷のリスクを軽減するために、木材ではなく金属の屋根システムを採用している。
- なお、このプロジェクトは、Tall Wood Building Demonstration Initiative(TWBDI)を通じて連邦政府から資金を受けている。
- Tall Wood Building Demonstration Initiative(TWBDI)は、カナダ天然資源省(NRCan)による、高層木造建築物の規制および商業的受け入れを促進するための財政支援制度である。カナダ天然資源省(NRCan)は、高層木造構造物の設計と建設に、加工木材製品と建設システムを使用する為の実証プロジェクトを支援するための資金を提供している。

# 11. Brock Commons Tallwood House : A CASE STUDY

## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

<建物全体の構造(コンクリート・木材ハイブリッド構造)>



# 11. Brock Commons Tallwood House : A CASE STUDY

## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (2) 使用材料と使用要因

部位	床版、柱
使用材料	床: 木材 (CLT) + コンクリート + 石膏ボード 柱: 木材 (GLT, PSL) + 石膏ボード 接合部: 木材、コンクリート + 金属部品、ボルト

#### <床版>

- 床にCLT+コンクリート床版を使用している。コンクリートは、遮音と防火の為に使用されている。
- また、スラブの下側は、石膏ボードを被覆して耐火性を向上させている。
- 各CLTパネルは、釘又はネジを使用して結合 (合板スプライン結合) している。

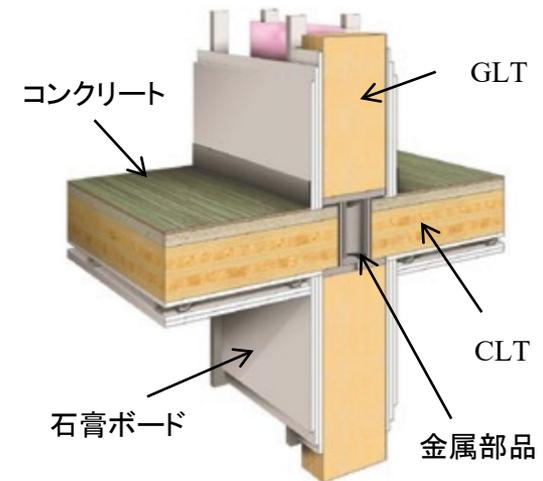
#### <柱>

- 耐火性強化として、木材の柱を石膏ボードで被膜している。
- 柱には主に (GLT) を使用している。

#### <柱と柱、柱と床の結合部>

- 柱と柱、柱とスラブとの結合部に金属部品及びボルトが使用されている。

### <床版、柱の構造>



Credit: Acton Ostry Architects  
Typical floor and column cross-section

# 11. Brock Commons Tallwood House : A CASE STUDY

## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (3) 技術の概要

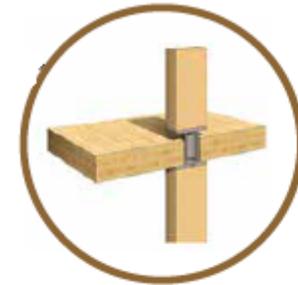
#### <床版>

- 床にCLT+コンクリート床版を使用している。CLTは5層で構成されており、厚みは169mmである。コンクリートの厚みは40mmであり、遮音と防火の為に使用されている。
- また、スラブの下側は、石膏ボードを被覆して耐火性を向上させている。

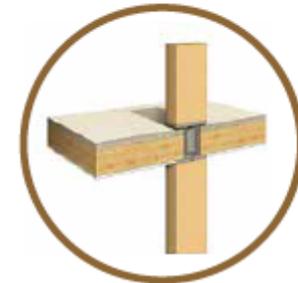
#### <柱>

- 耐火性強化として、石膏ボードを使用し、木材の柱を皮膜することにより、2時間の耐火性評価(2HR FRR)を付与している。
- 柱には主にGLTを使用している。一部、PSL(Parallel Strand Lumber)が、圧縮強度を高めるために、建物の中央の2階から5階で使用している。

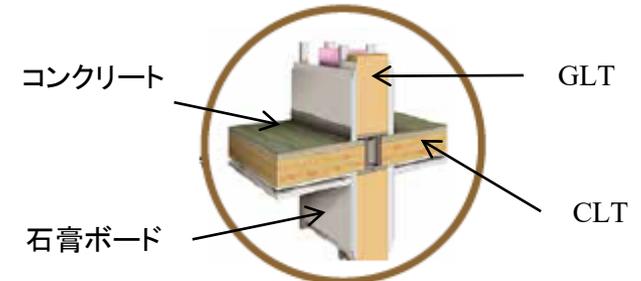
#### <床版、柱の構造>



Steel connection—  
column to column and  
column to CLT panel



Partial encapsulation of CLT  
panel, for fire safety during  
construction



Complete encapsulation of the wood  
structure after construction provides  
a 2-hour fire resistance rating

# 11. Brock Commons Tallwood House : A CASE STUDY

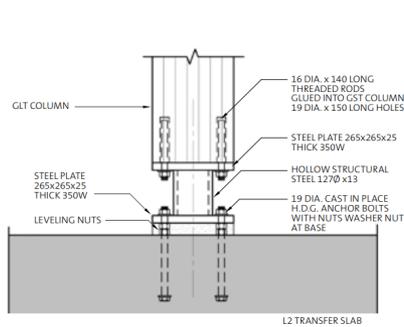
## 1. 住宅インフラ分野におけるマルチマテリアル化の現状と課題の把握・整理

### (3) 技術の概要

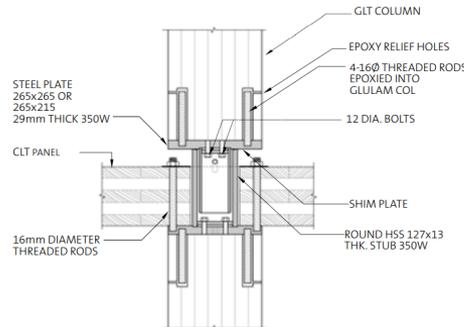
#### <接合部>

- 柱と柱、柱とスラブは金属部品及びボルトによって結合されている。

#### <コンクリートスラブと柱の結合部>



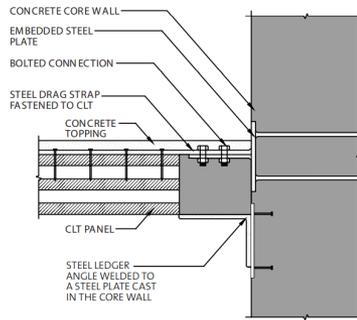
#### <柱と柱、柱とCLTパネルの結合部>



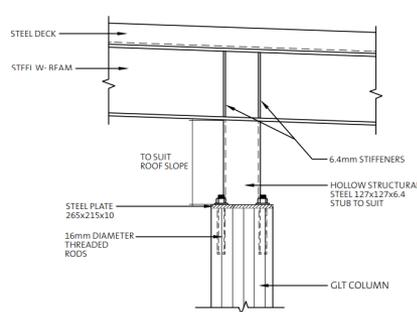
#### <結合部の金属部品>



#### <スラブとコンクリートコアの結合部>



#### <柱と鋼製屋根の結合部>



# 11. Brock Commons Tallwood House : A CASE STUDY

## 2. 上記部素材技術に対するDX検討状況と課題

### <3D仮想モデル>

- 本プロジェクトでは、VDC (Virtual Design and Construction) を活用した。VDCは、建物やプロジェクト用地のデジタルモデルを作成する技術であり、設計、製造、建設を視覚化し、計画した。VDCを使用することにより、建設計画の最初から最後までを着工前に解析することができる。
- また、設計および建設プロセス全体の建設可能性と最適化を評価する際に、3次元CADソフト『Dassault Systèmes Catia』を使用した。同ソフトは、ダッソー・システムズ社が開発したソフトである。
- フルスケール2階建ての実証モックアップを作成した。建設と設計チームによって構築され、設計の実行可能性と構築可能性を検証した。仮想モデルは、3ベイ×3ベイのモックアップ（約8メートル×12メートル）のテンプレートが使用された。すべてのマスティンバー製品は、VDCモデルを使用してデジタルで製造された。また、床システムの水分モニタリングもモックアップで行った。



### <監視システム>

- 建設開始前からCLTパネルの含水率、垂直方向の建物の動き、風や地震による水平方向の振動に関するデータと情報を収集するための監視システム（センサー）を導入した。
- CLTパネルの含水率と温度のデータを記録するセンサーは、各階5つのCLTパネルに設置され、輸送中から最終的な設置状態に至るまで、CLTパネルの含水率を監視した。また、建物の建設後もCLTパネルの含水率を監視し続け、製造から水分平衡までの有効な含水率のタイムラインを特定する。
- 垂直方向の建物の動きに関しては、8つの垂直短縮ストリングポットセンサーが弾性短縮、水分関連の収縮、クリープ変形などの垂直沈下を分析する。また、高荷重のGLTおよびPSL柱の床から床への軸方向柱の短縮を測定する。
- 水平方向の振動に関しては、CLTプレートの下に設置された加速度計により、周囲振動試験 (AVT) からの現場減衰値を測定する。また、コンクリートコアに設置された傾斜ゲージにより、地震発生時の建物の傾斜角度を記録する。



# 11. Brock Commons Tallwood House : A CASE STUDY

## 3. 環境への取り組み(前記部素材技術に対する LCA、資源循環性の検討状況と脱炭素化への課題)

木材使用による環境への影響を以下のように推定した。

- 使用された木材製品 (CLT、GLT) の量 : 2,233 立方メートル
- 木材に貯蔵される CO<sub>2</sub> の量 : 1,753 トン
- 温室効果ガスの削減量 : 679 トン
- 潜在的な総炭素利益 : 2,432 トン

## II. ヒアリング調査

# 1-1. 竹中工務店(設計部構造部門)

取材先	設計部構造部門
ヒアリング対象の論文名	CLT耐震パネルを組み込んだ鉄骨ハイブリッド構造の設計事例と抽出された課題
マルチマテリアル	CLT耐震パネル+鉄骨+モルタル+ピン・ボルト接合
マルチマテリアルの経時劣化	劣化加速試験は行っていない。 CLT耐震パネルは室内で使用する為、外壁のように紫外線や風雨の影響はなく、劣化が少ない。また、CLT耐震パネルは交換が可能な為、劣化した場合(10~20年後)、CLT耐震パネルを交換することが可能である。
木材の膨張・収縮	CLT耐震パネルは室内で使用する為、湿気や熱による膨張・収縮は少ない。 また、CLTパネルは複数のパネルを繊維方向が直交するように積層接着している為、膨張・収縮は少ない。さらに、鉄骨の接合は、ボルトをルーズにする(シロをとる)ことによって木材の膨張・収縮に対応している。
接着剤の耐火性能	接合部は、ボルト、ピン、モルタルで接合しており、接着剤は使用していない。 耐火性能としては、構造システムに対する耐火試験を行っている。
DXの活用状況	DX、BIMは、主に生産性の向上、工期の短縮、品質の向上を目的に活用している。 マルチマテリアルの開発、木材の寸法安定性の向上、経時劣化の抑制を目的としたDXの利用は行っていない。この用途におけるDX未利用の要因としては、現状、DXの使用を検討するまでに至っていないとのことである。
材料メーカーとの共同開発	CLT耐震パネルに関しては、特定の木材メーカーとの共同開発は行っていない。 材料メーカーにニーズを伝えることや、材料メーカーから提案されることはある。 これまでに高強度コンクリートやひび割れが少ない長寿命RCを採用している。 木材に関しては、耐候性に優れた(紫外線や風雨による劣化が少ない)木材が望まれる。 なお、鉄筋・鉄骨メーカーと比較すると木材メーカーとの付き合いは少ない傾向にある。
マルチマテリアルのリサイクル	CLT耐震パネルは、脱着が可能な為、鉄骨と分離してリサイクルが可能である。 現状、鉄骨、RC、木材は分別して、リサイクルを行っている。

# 1-1. 竹中工務店(設計部構造部門)

新素材の採用について	建築基準法により、使用できる素材は限定されている為、簡単に新素材を使用できるわけではない。 新材料の開発スケジュールは、5~10年程度を要する。
新素材採用の為のデータ	新素材の採用の為のデータとしては、応力度、耐力、耐火性・不燃性があげられる。 また、建築基準法に準拠しているなどの認証が必要である。
完成後のモニタリングについて	モニタリングに関しては、地震などの災害後に、建物の損傷の具合を検査することはあるが、常時のモニタリングは行っていない。 基本的には設計時・施工時に耐震構造を造りこんでいる。
木造建築の意義	木造建築の意義としては、環境対策(低炭素社会の実現)、木材の利用促進、ユーザーからのニーズ、地方活性化などを目的に木造建築を推進している。
木材の産地について	補助金利用の物件などでは、地産地消を目的に、ユーザーから木材の産地を指定(例えば兵庫県産のスギなど)されることがある。 特に産地の指定がない場合は、等級、外見(節目が少ないなど)から選定している。一般的には九州産のスギが建材に適している。

## 1-2. 竹中工務店(木造・木質建築推進本部)

取材先	木造・木質建築推進本部
ヒアリング対象の論文名	耐火木造部材の荷重支持部の木材密度が耐火性能に与える影響
マルチマテリアル	耐火木材(木材+コンクリートorモルタル)
マルチマテリアルの経時劣化	劣化加速試験は行っていない。 個々の材料(木材、コンクリート、モルタル)に関しては、建築基準法に準拠した材料を採用しているが、複合材料としての経時劣化試験は行っていない。
木材の膨張・収縮	個々の材料の物性データを利用しており、複合材料としての対策は行っていない。
接着剤の耐火性能	木材と木材の接合は、レゾルシノール系接着剤を使用しているが、木材とモルタルの接合に関しては、適した接着剤がない為、ネジや釘で接合している。また、柱・梁の接合に関しては、金具を使用している。 レゾルシノール系接着剤に関しては、十分は耐火性能を有している。
DXの活用状況	DXは、木材の産地(森林資源把握)から現場(木材流通システム)までの管理などに利用している。また、設計から施工の効率化にBIMを活用している。 今後、木材の産地の証明が要求されることが考えられる為、産地から木材にタグ付けするなど、DXの活用の幅が広がると見込まれる。
材料メーカーとの共同開発	材料メーカーとの共同開発に関しては、接着剤メーカーと行っている。少ない圧着で接着できる接着剤や接着面が粗くても接着可能な接着剤の開発などを行っている。 木材に関しては、住友林業が高強度木材や成長が早い木材などのバイオテクノロジーを活用した開発を行っており、情報共有をしてもらっている。また、木材に対する要望などを伝えている。
マルチマテリアルのリサイクル	これまでは木材は、チップ化する、または焼却してエネルギーとして回収していた。耐火木材に関しては、木材は焼却して、燃えカスから、ネジや金具などを回収していたが、今後は、リサイクル率の向上が課題として認識している。

## 1-2. 竹中工務店(木造・木質建築推進本部)

<p>新素材の採用について</p>	<p>建材には建築基準法に準拠した材料でなければ採用することはできない。          以前に建築基準法で承認されていない竹の集成材を開発したことがあるが、耐久性など促進試験ではなく、暴露試験が必要となるなど、試験内容・項目が多く、断念した経緯がある。          建築基準法の第37条に新材料の試験項目が告示されているが、試験項目が10項目程度あり、さらに各項目が細分化されている。          建築基準法では、日本産業規格又は日本農林規格に適合するもの、防火上又は衛生上必要な品質に関する技術的基準に適合するものであることについて国土交通大臣の認定を受けたものとなる。          新材料の採用には、国土交通省、日本産業規格(経済産業省)、日本農林規格(農林水産省)、消防庁(総務省)の承認が必要となり、試験データなどの証明の提示が必要となる。しかし、試験データの取得は、1企業だけではコスト・時間的に難しく、新材料の採用拡大が進まない要因となっている。</p>
<p>木材の更なる利用促進について</p>	<p>例えば、火災時に稼働するスプリンクラーに関して、日本では、スプリンクラーは火災時の稼働が不確実とみなされており(安全性が保証されていない為)、スプリンクラーの設置が木材の利用促進にはならない。一方、海外ではスプリンクラーの設置が、高層建物における木材の利用促進となっている。          木材の更なる利用促進には建築基準法の耐火基準の緩和が必要と考えている。          現在、協会を通じて国土交通省に建築基準法の改正を要求しているが、建築基準法の緩和には、試験データなどの証明の提示が必要となる。試験データなどの取得は、1企業だけでは難しいという課題があり、研究機関との連携などを行うことが望ましいと感じてる。</p>
<p>接着剤について</p>	<p>建築基準法では、構造に接着剤の使用は認められていない(耐震補強のケミカルアンカーは除く)。          なお、集成材に関しては、接着剤が使用されているが、接着剤は集成材の内部に使用する為、日本農林規格の基準を満たした集成材は使用されている。</p>

# 1. 竹中工務店

## <参考情報:DXの利用状況>

- 竹中工務店のDX活用としては、『時間と場所の制約から解放する』、『人の能力を拡張する』、『心身の負担を軽くする』、『コラボレーションで価値を生む』としている。

DXの活用	内容	
時間と場所の制約から解放する	遠隔で操作・作業	深刻化する技能者不足。遠隔なら、より多くの現場で高度な技能が発揮される。
	遠隔&リアルタイムで検査	顧客との進捗確認や作業所での品質検査、協力会社工場での製品検査などを、リモートで、かつタイムリーに行える。
	現場の様子を記録・共有	建設現場に通信環境を構築し、ICTツールをつなげるプラットフォームにより情報を共有する。
	BIMを中心にした情報共有	建築生産の全プロセスで、横断的にBIMを活用。場所や工程を問わず、全関係者がBIMを中心に情報を共有できる。
人の能力を拡張する	BIMで施工状況を検査	施工BIMモデルを実施施工状況に現地投影することで、図面通りの施工が出来ているのかの確認や検査が行える。
	人の感覚や経験を補完	人の作業や判断の精度向上を補完できる。
	思考や判断のサポート	個々の役割や状態に応じて活動支援し、経験年数が少ない人材も活躍できることを目指す。
	建設の「トレーサビリティ」	設計から生産、運用まで、建築生産の全プロセスがデジタルでつながり、データ化されることで、過去をたどり、未来を予測することが容易になる。

出所: [https://www.takenaka.co.jp/solution/kensetsu\\_dx/](https://www.takenaka.co.jp/solution/kensetsu_dx/)

# 1. 竹中工務店

## <参考情報:DXの利用状況>

DXの活用	内容	
心身の負担を軽くする	管理業務や作業を自動化	デジタルやロボットで自動化し、現場作業員の管理業務や作業を軽減する。
	チーム作業の効率化	建設現場は、対面型・集合型が中心であった。情報伝達をデジタル化することで、効率が高まり、三密回避にもつながる。
	各種のムダを削減	複雑な工程と連携が必要な建設現場では、何かを探す・待つ、などの時間を要する。工程間の連携を強化する技術で、ムダを削減し、効率化を図る。
コラボレーションで価値を生む	ロボット・IoT分野の連携	ロボット施工・IoT分野で、共同研究開発、既存技術の機能向上・改良のほか、実用レベルに達した既存ロボット技術等の相互利用に取り組んでいる。
	スタートアップ企業との協業で新事業創出	スタートアップ企業を募り、支援しながら協業を目指す。



出所: [https://www.takenaka.co.jp/solution/kensetsu\\_dx/](https://www.takenaka.co.jp/solution/kensetsu_dx/)

# 1. 竹中工務店

## <参考情報: BIMの活用状況>

- BIMの活用により、顧客・設計者・施工者の合意形成の促進、品質の向上、生産性の向上、工期の短縮を行うことができる。

BIMの活用	利点・活用方法
BIMによるわかりやすい情報提供で意思決定をサポート	ビジュアル化されたBIMモデルを活用し、わかりやすい情報を提供することで、迅速な意思決定をサポートし、もの決めを円滑に進めることができる。
	VRデバイス等により完成後の空間イメージを共有(デジタルモックアップ)することができる。
現場とオフィスをつなぐリモート環境	遠隔地の現場であってもリアルタイムに現地の状況を共有し、必要事項の確認やきめ細かい指示が可能である。
	施工BIMモデルをMRゴーグルなどで現地投影することで、実際の空間での納まりや見え、スケール感を確認できる。また、既に取りついている機器と新設の機器の接続や位置関係、また施工時やメンテナンス時の作業姿勢なども確認することができる。顧客、設計者、施工者のそれぞれの目線での現地確認を事前に行うことで、関係者全員の合意形成が容易になる。
現地でBIMと施工状況を重ね合わせたMR確認及び検査	施工BIMモデルをMRゴーグルなどのデバイスで実施施工状況に現地投影(デジタルツイン)することで、図面通りの施工が出来ているのかの確認や検査を行うことが可能となる。
3Dスキャナーを用いて既存建物をBIMモデル化	既存建物の改修工事や設備機器更新工事において、現地空間と既存設備の3Dスキャンデータを元に、再現モデルを作成し、精度の高い改修設計を提案します。
最先端のベンチャー技術を有効活用	BIMと360度カメラ画像のシンクロ記録
建設ロボットプラットフォーム	BIMを地図情報としてロボットを制御

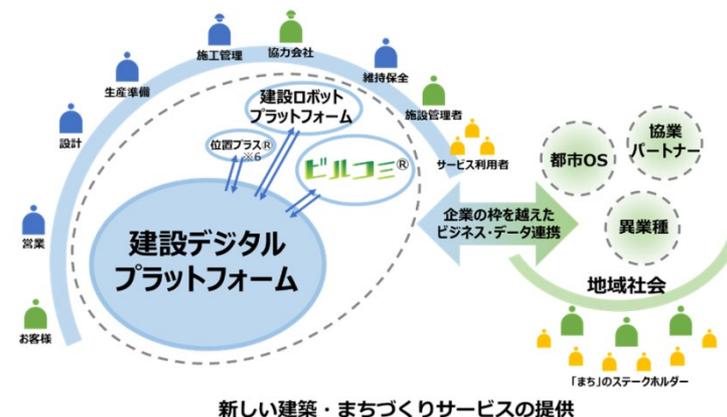
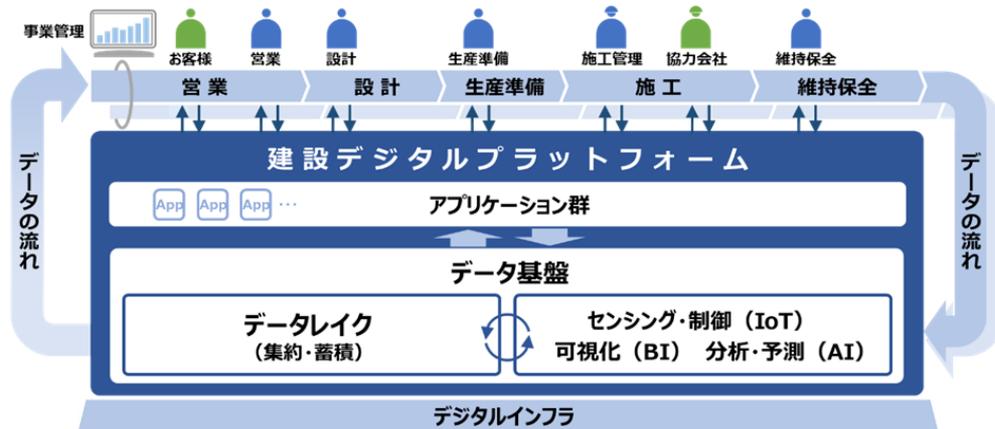
出所: <https://www.takenaka.co.jp/solution/shinseisan/case01.html>

# 1. 竹中工務店

## <参考情報: BIMの活用状況>

- 竹中工務店では、「建設デジタルプラットフォーム」を活用し、全業務のデジタル化を進めている。
- 「建設デジタルプラットフォーム」はデータレイクとIoT・BI(ビジネスインテリジェンス)・AIが一体で機能するデータ基盤とアプリケーション群の統合基盤である。データ基盤では、営業・設計・見積・工務・施工管理・FM(施設絵運営)支援サービスや人事・経理等、事業に係るすべてのデータを一元的に蓄積し、BIによる可視化、AI等による分析・予測を行うことで意思決定をサポートする。各種アプリケーションと連携し、多岐にわたる業務でのデータの高度利活用を目指している。
- また、協力会社と共同で建設資材の搬入・据付状況をIoTで集約・蓄積しBIMと連携する等、施工デジタルツインの実現に向けた様々な取組みを進め、施設運用でのデータ活用へとつなげていく。

## <建設デジタルプラットフォームの概要>



出所 : <https://www.takenaka.co.jp/news/2021/12/01/>

## 2. 清水建設

取材先	技術研究所
ヒアリング対象論文名	木質ハイブリッド構造による中層共同住宅
マルチマテリアル	・耐火ウッド(木材+耐火シート(ポリリン酸塩混入合成樹脂)+強化石膏ボード) ・柱-梁接合部(木材+プレキャストコンクリート+ガセットプレート)
マルチマテリアルの経時劣化	劣化加速試験を行っているが、詳細は不明。
木材の膨張・収縮	マルチマテリアルは内部構造材として使用することが多く、内部構造材は、外部構造材と比較すると熱による膨張や収縮は少ない。
接着剤の耐火性能	接着剤としての耐火性能ではなく、建材(耐火木材)として、燃え止まり層(耐火シート+石膏ボード)により、耐火性能を確保している。
DXの活用状況	施工性の向上(省力化、効率化)を目的にDX、BIMを活用している。 材料の限界に関してのDXの活用の有無に関しては、社内のどこかで実施しているかもしれないが、詳細は不明
材料メーカーとの共同開発	スリム耐火ウッドでは、菊水化学工業と共同で耐火シートの開発を行った。 木材や鋼材に関しても、材料メーカーと共同で開発を行うことはあるが、常に特定の企業と行っているわけではない。
マルチマテリアルのリサイクル	建材のリサイクルの重要性は増している為、十分に意識しているが、マルチマテリアルに関しては、現状、具体的な方策に落とし込めていない。

## 2. 清水建設

### <参考情報:DXの利用状況>

- 清水建設のDX活用としては、『ものづくり(建築、土木)』、『空間・サービスの提供』、『ものづくり支援業務』を行っている。

DXの活用	内容
ものづくり(建築、土木)	BIMを基盤として、プロジェクトの上流から下流まで一貫したデータ連携体制を構築する。
空間・サービスの提供	施工中に作成したBIMデータ等を竣工後に、建物に備わる様々なIoT情報を取り込める建物OS「DX-Core」へ展開し、様々なデジタルサービスを入居者や管理者などに提供する。顧客の資産価値向上や運営管理の効率化、利用者の利便性や安全・安心の向上に貢献する。
ものづくり支援業務	従業員がいつでもどこでも安全に業務を行え、ものづくりを支援する環境を提供する。

### Shimz デジタルゼネコン

「ものづくり(匠)の心」を持った「デジタルゼネコン」

ものづくりを  
デジタルで



ものづくりを支えるデジタル

デジタルな  
空間・サービスを提供



### <参考情報:DXの利用状況>

- ものづくりの建築分野では、「Shimz One BIM」を導入しており、BIMが設計・施工の全体の基盤となる。設計の企画段階ではコンピューショナルデザイン「Shimz DDE」を活用し、下流工程では、施工現場においてロボットや3Dプリンターを活用する「Shimz Smart Site」によるデジタル化施工を推進する。



出所：<https://www.shimz.co.jp/digital-strategy/>

### III. その他関連情報

# 1. 海外の木造建築推進関連の法律・規制

国名	法律・規制	施行年	概要
米国	International Building Code (IBC) 2021	2021年	米国では各州の建築基準の規範となるIBC(国際建築基準)が改正され、木造建築(マスティンバー)は18階建まで建設可能となった。
カナダ	Wood First Act法	2009年	<p>州政府が設計又は建設に資金支援を行う建築物では、木材を主要な建築資材として使用することを義務付けている。</p> <p>(目的)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・同法の目的は、「州政府が設計又は建設に資金支援を行う建築物において、木材を主要な建築資材として使用することを求めることを通じて、「木の文化」(culture of wood)を普及することである(第2条)。</li> </ul> <p>(具体的取組)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・上記の目的のために、州政府は、以下の取組を実施(第3条、第4条)。</li> <li>・建築物における木材利用に関するベストプラクティスの勧告</li> <li>・設計又は建築のための協定等の形式及び内容に関する助言の提供</li> <li>・州政府が資金支援を行った建築物における木材利用に関する報告の徴収等</li> </ul>
	Tall Wood Building Demonstration Initiative	2013年	2013年、カナダ政府は、Tall Wood Building Demonstration Initiative(TWBDI)を通じて、カナダでの高層木造建築物建設向け資金支援を発表した。このプログラムは、高層木造建築物の設計と建設における技術的バリアに対処し、高層建築物の用途での集成材製品の受け入れを促進した。
	Green Construction through Wood (GCWood) プログラム	2017年	Green Construction through Wood(GCWood)プログラムは、建設プロジェクトでの木材の使用を促進し、カナダの低炭素経済への移行を支援する。このプログラムは、革新的な高層木造建築物、木造橋、低層木造建築物への認識を高める。プロジェクト費用の最大100%の返済不要な資金支援を提供する。
	National Building Code of Canada 2020 Edition	2022年* 第1四半期に公開される予定	木造建築(マスティンバー)が12階建まで建設可能となる。

# 1. 海外の木造建築推進関連の法律・規制

国名	法律・規制	施行年	概要
フランス	Sustainability law	2022年* (実施予定)	フランス政府は、すべての新しい公共建築物が少なくとも50%の木材又はその他の天然素材で建設されることを保証する持続可能性法の計画を発表した。 この措置は2022年までに実施される予定である。これは、フランス政府が資金提供する全ての公共建築物に適用される。 木材に加えて、麻やわらなどの生物に由来する物質から作られたバイオベースの材料を使用することも可能である。 マンデートは、2024年のパリオリンピック複合施設のために建設された建物に適用される。
英国	Timber in Construction Innovation Fund	2022年	Timber in Construction Innovation Fundは、建築に貯蔵される炭素の量を増やすことを目的としている。建設に使用される木材を増やすことで、二酸化炭素を大気から除去する。 イノベーション基金を通じて、申請者は建設に使用するための新しい木材製品の開発、または英国の木材のより多くの使用を可能にする新しい建設方法を開発することが奨励される。

# 1. 海外の木造建築推進関連の法律・規制

国名	法律・規制	施行年	概要
フィンランド	National Wood Construction Programme (2011–2015)	2011–2015年	<p>このプログラムは、雇用経済省 (Ministry of Employment and Economy) によって管理されている。</p> <p>都市部での木材建設と建設における木材製品の使用を促進することを目的とする。</p> <p>(プログラムの目的)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・木材が適切かつ競争力のある方法で使用される、大型建設プロジェクトを開発する。</li> <li>・多階建ての木造建築物の市場シェアを10%とし、加工木材製品の輸出を毎年5億ユーロ増加させる。</li> <li>・森林産業の輸出額を年間130億ユーロにする。</li> <li>・国産材の使用量を年間6,500万から7,000万立方メートルに増加させる。</li> </ul>
	The Wood Building Programme (2016–2022)	2016–2022年	<p>このプログラムは環境省によって管理されており、年間50のプロジェクトに資金を提供することを目的としている。予算は250万ユーロである。</p> <p>このプログラムは、Bioeconomy and Clean Solutions Key Project (2016–2018) とEnergy and Climate Strategy (2018–2021) を通じて資金提供されている。</p> <p>(プログラムの目的)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・都市開発における木材の使用を促進する</li> <li>・公共建築物における木材の使用を促進する</li> <li>・大規模の木造建築物を増加させる</li> <li>・木材建設技術の向上</li> <li>・輸出の奨励</li> </ul>
オーストラリア	CEFC Timber Building Program	2022年	<p>政府は、Clean Energy Finance Corporation (CEFC) を通じて、木材建設プログラムを支援するために3億ドルを投資する。</p> <p>CEFC Timber Building Programは、建設によるCO2排出量を削減し、森林産業で雇用を創出するために、アパートやオフィスビルでの低炭素集成材の使用を促進する。</p>

## 2. 各国のBuilding information modelling (BIM)の普及状況

### (1) BIMの使用義務の有無

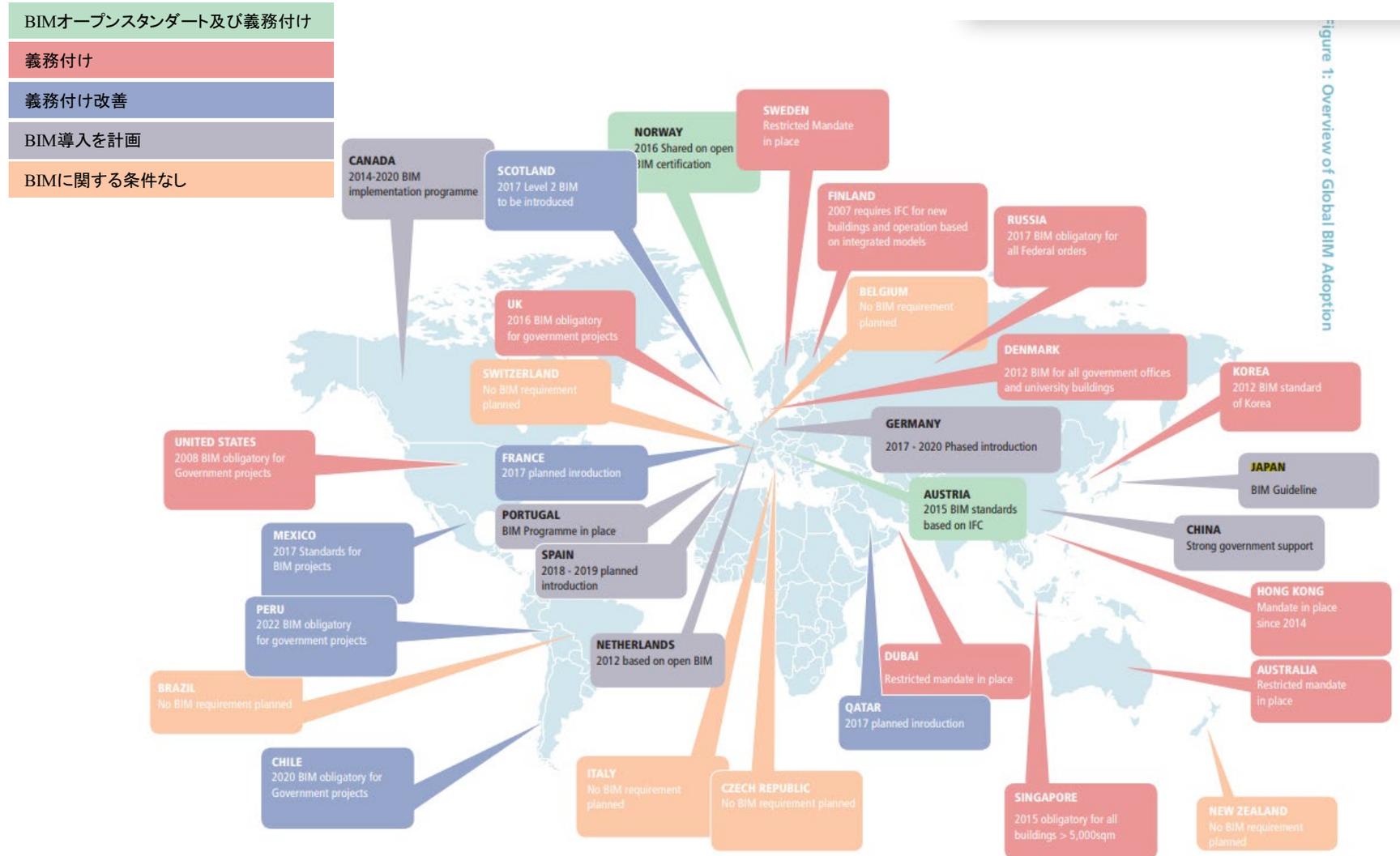


Figure 1: Overview of Global BIM Adoption

出所: Global BIM REPORT (2017年) <https://arrow.tudublin.ie/cgi/viewcontent.cgi?article=1016&context=beschrecrep>

## 2. 各国のBuilding information modelling (BIM)の普及状況

### (2) 主要国の状況

国	平均的なBIMの成熟度レベル	BIMの使用が義務付けられた日 (施行日)	BIMを使用している建設会社の割合
英国	レベル2 (レベル3に向ける)	2016年 (政府プロジェクト)	大企業:80% 中小企業(15人未満):62%
ドイツ	レベル2(一部1と3)	2017年 (1億ユーロ以上プロジェクト)	70%
フランス	レベル2	2022年1月1日(予定)	デベロッパー:35% 建設会社:50-60%
アメリカ	不明	2003年 (公共建築物)	大手建設会社:100% 中小企業:33%以上
日本	不明	ガイドラインのみ	総合設計事務所:81.2% 専門設計事務所:32.6% 総合建設業:48.8% 専門工事会社:50.4%

### <BIM成熟度レベル>

レベル	成熟度
レベル0	2D図面を介した従来の設計プロセス
レベル1	3Dモデルを限定的に取り入れた設計プロセス
レベル2	プロジェクト関係者が各専門分野のBIMモデルを互いに共有・参照することを目指す
レベル3	プロジェクト関係者が1つの統合モデルにアクセスして設計を進める

(出所: <https://bim-consultant.hatenablog.com/entry/2021/01/18/222328>)

## 2. 各国のBuilding information modelling (BIM)の普及状況

### (2) 主要国の状況

#### <イギリス>

- 2011年にイギリス政府は、2016年までにすべての州資金プロジェクトの建物に関して、最低でもBIMレベル2を目指すを発表した。2016年以降、州のプロジェクトによる建物は最低BIMレベル2を使用することが義務付けられている。プライベートプロジェクトの場合、BIMの使用は推奨されるが、強制ではない。
- 統計によると、イギリスのデベロッパーは、2011年に13%がBIMを使用し、43%がBIMのことを認識してなかったが、2020年は99%の建設関連企業がBIMを認識した。イギリスはBIMに関して、比較的長い歴史を有しているが、普及したのは、この10年間である。
- 2020年のBIMの使用率は大企業が80%であったが、中小企業(15人未満)では62%である。
- 現在、イギリスではBIMレベル2が一般的であるが(州のプロジェクトでは義務付け)、BIMレベル3を使用する大規模なプロジェクトもある。

#### <ドイツ>

- ドイツでは、2017年以降、1億ユーロ以上のプロジェクトにBIMの使用が義務付けられている。
- 2020年12月から、連邦の公共インフラ及びインフラに関連する建物のすべての契約でBIMの使用が義務付けられた。
- 建設会社の約70%が様々なレベルでBIMを使用している。なお、そのうちの70~80%は建築家やデザイン会社である。
- ドイツのBIMレベルの平均は2であるが、レベル1は依然として広く使用されている。大規模プロジェクトでは、レベル3を使用している。
- ドイツ政府は建設業界向けのデジタル化センターを開設した。このセンターは、BIMの標準化を促進し、スキルトレーニングを開発し、BIMプロジェクトのコンサルティングとサポートを提供するとともに、ドイツの建設業界におけるデジタル化を推進する。

#### <フランス>

- フランスでは、BIMの使用は義務付けられておらず、法律や規制に定められたBIM標準がないが、大規模な公共プロジェクトなどにBIMの使用を奨励している。
- フランスのデベロッパーの35%が建設プロジェクトにBIMを使用している。フランスの建設会社の50~60%がBIMを導入している。
- 2017年に、BIM標準化のロードマップがリリースされ、2018年の終わりに、建設関係者がBIMをワークフローに統合することを奨励するためのプランが発表された。このプランでは、2022年までに公共事業と大規模インフラストラクチャの設計/管理におけるBIMの使用を普及させること目指している。

## 2. 各国のBuilding information modelling (BIM)の普及状況

### (2) 主要国の状況

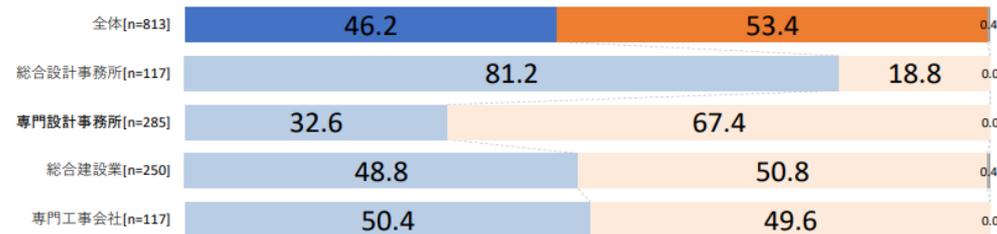
#### <米国>

- 米国では、2003年に連邦政府の調達を担当する一般調達局(General Services Administration LGSA)が、国家3D-4D-BIMプログラムを確立し、BIMを様々な種類の公共建物でを使用することを義務付けた。それ以来、州、連邦省、市、および組織は、米国でのBIMの使用を義務付けたまたは奨励してきた。現在、米国でのBIM使用は、ほぼ標準になっている。米国には多くのBIM標準があるが、国の標準はなく、建設会社などは、それらの基準をガイドラインと見なしている。
- American Institute of Architectsの2020年調査によると、大手建築会社の100%が、BIMを使用している(中小企業の3分の1以上もBIMを使用している)。

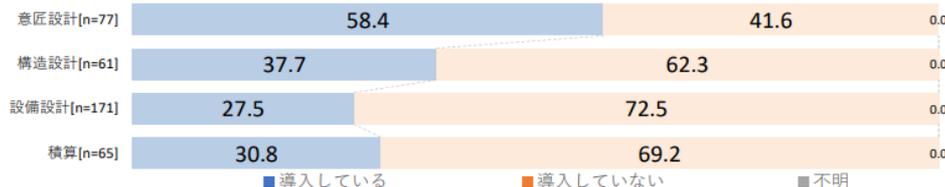
#### <日本>

- 日本では国土交通省がBIMガイドラインを発表しているものの、義務化はされていない。
- 国交省によるアンケートでは、2021年1月時点のBIMの導入状況は46%である。特に中小企業の導入率が低くなっている。中小企業が従来のフローを見直さなくても仕事を受注できる環境であることが、普及しづらい理由の1つとなっている。

所属する企業(部署)におけるBIMの導入状況【分野別】 (n=813/単一回答/%)



#### <専門設計事務所の主な内訳>



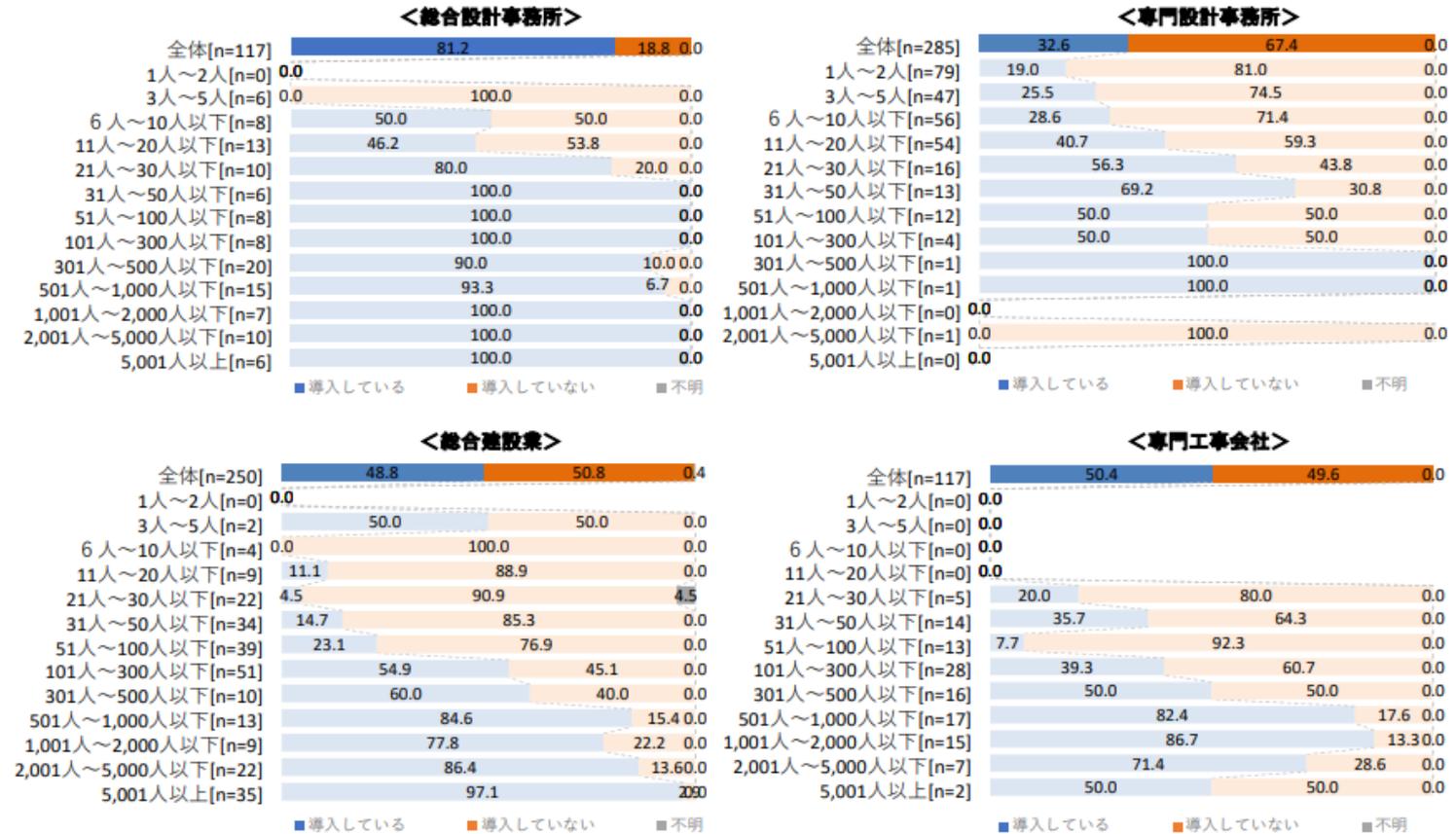
出所: 建築分野におけるBIMの活用・普及状況の実態調査(令和3年1月 国土交通省調べ)

## 2. 各国のBuilding information modelling (BIM)の普及状況

### (2) 主要国の状況

<日本>

所属する企業（部署）におけるBIMの導入状況【分野別・規模別（従業員数）】 (n=813/単一回答/%)

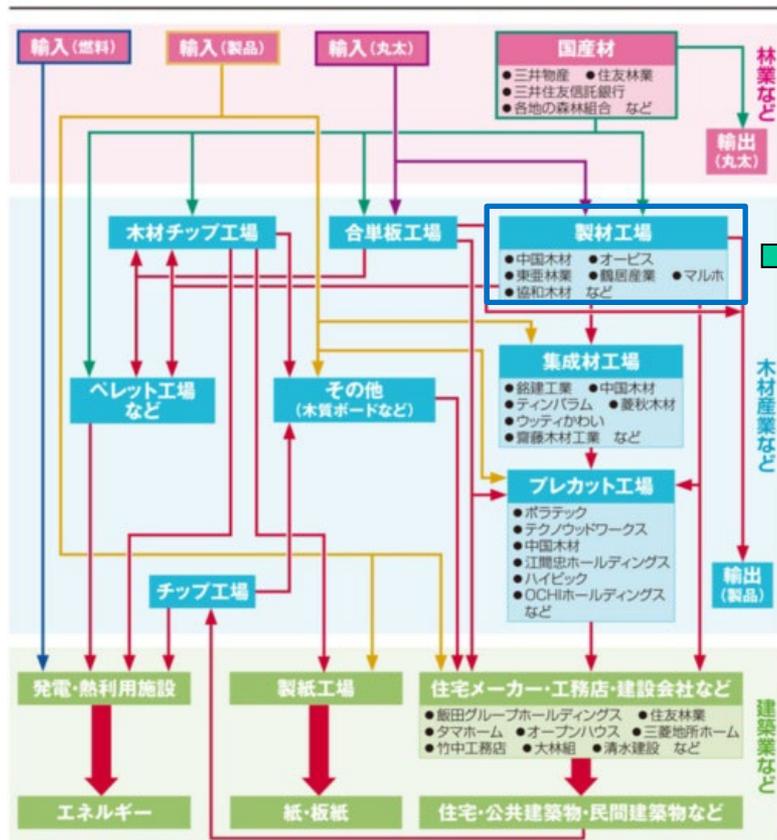


出所：建築分野におけるBIMの活用・普及状況の実態調査（令和3年1月 国土交通省調べ）

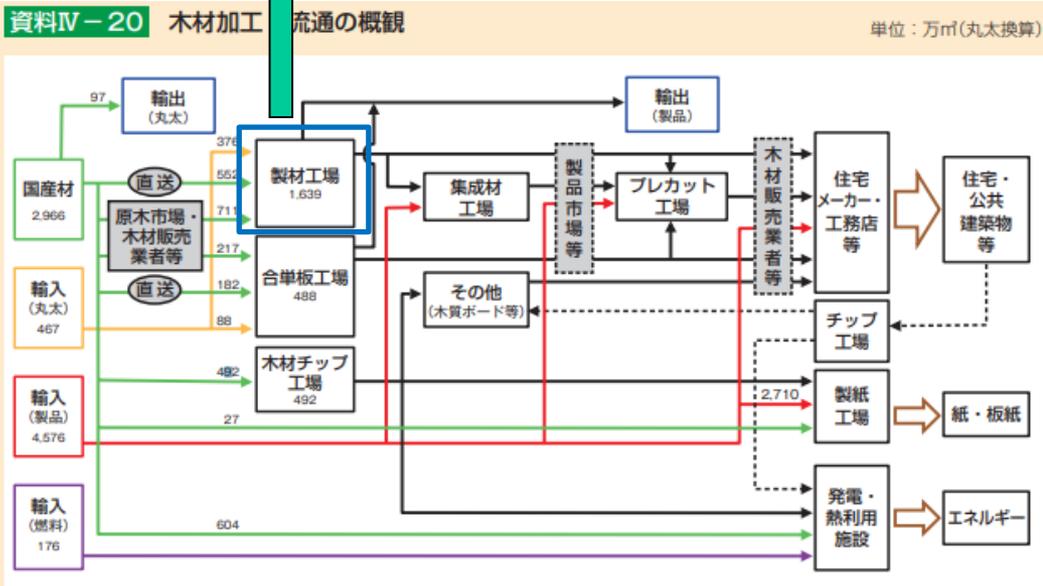
# 3. 材料メーカー

## (1) 木材メーカー

＜木材の業界地図＞



- ＜製材メーカー＞
- ・中国木材
  - ・オービス
  - ・東亜林業
  - ・鶴居産業
  - ・マルホ
  - ・協和木材
  - ・住友林業、他



出所：<https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/30hakusyo/attach/pdf/zenbun-7.pdf>  
<https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/column/18/01770/090600007/>

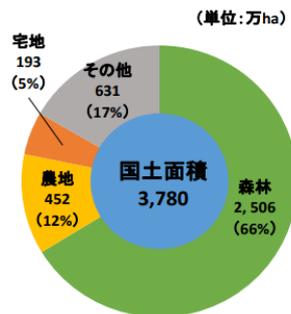
### 3. 材料メーカー

#### <参考情報:国産材の生産者>

- 日本の森林面積は約2,500万haであり、私有林が約1,500万haを占めている。
- 私有林のうち、70%弱(約1,000万ha)を全国に640程度ある森林組合が所有している。なお、住友林業の社有林は4.8万haである。

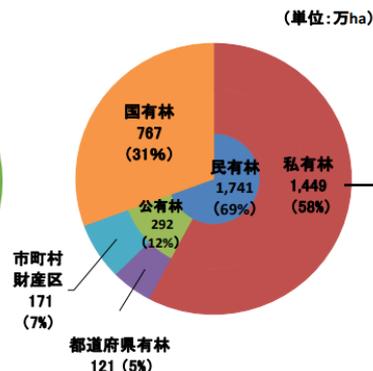
#### <森林の所有形態>

■国土面積と森林面積の内訳



資料:国土交通省「平成27年度土地に関する動向」より(国土面積は平成26年の数値)  
注1:計の不一致は四捨五入による。  
注2:林野庁「森林資源の現況」とは森林面積の調査手法及び時点が異なる。

■森林の所有形態



資料:林野庁「森林資源の現況」より  
注1:平成24(2012)年3月31日現在の数値。  
注2:計の不一致は四捨五入による。

森林組合数	644 組合
組合員数	155 万人
地区内私有林面積	1,598 万ha
組合員所有森林面積	1,082 万ha

出所:林野庁(<https://www.rinya.maff.go.jp/j/keiei/kumiai/pdf/280401.pdf>)

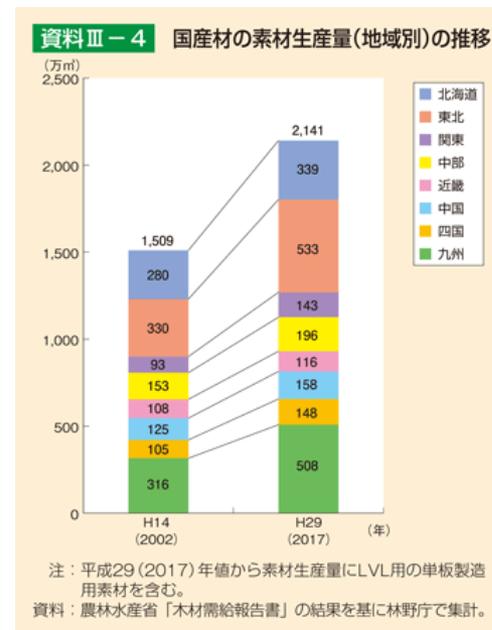
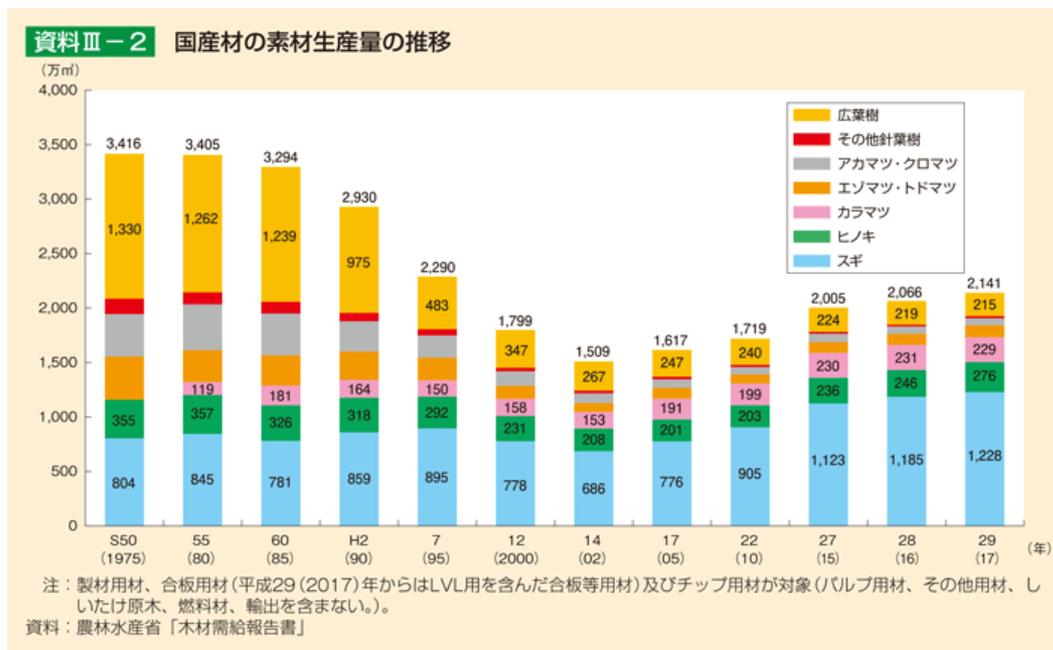
出所:林野庁([https://www.soumu.go.jp/main\\_content/000484063.pdf](https://www.soumu.go.jp/main_content/000484063.pdf))

### 3. 材料メーカー

#### <参考情報:国産材の生産量>

- ・ 国産材の生産量は2,100万㎡であり、スギが最も多く、ヒノキが続いている。
- ・ 地域別には東北、九州の生産が多い。

#### <国産材の生産量>



出所：林野庁

[https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/30hakusyo\\_h/all/chap3\\_1\\_1.html#:~:text=%EF%BC%88%E5%9B%BD%E7%94%A3%E6%9D%90%E3%81%AE%E7%B4%A0%E6%9D%90%E7%94%9F%E7%94%A3,%E3%81%A6%E3%81%84%E3%82%8B%EF%BC%88%EF%BC%8A1%EF%BC%89%E3%80%82](https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/30hakusyo_h/all/chap3_1_1.html#:~:text=%EF%BC%88%E5%9B%BD%E7%94%A3%E6%9D%90%E3%81%AE%E7%B4%A0%E6%9D%90%E7%94%9F%E7%94%A3,%E3%81%A6%E3%81%84%E3%82%8B%EF%BC%88%EF%BC%8A1%EF%BC%89%E3%80%82)

### 3. 材料メーカー

#### (2) 鉄筋・鉄骨メーカー

(単位:千トン)

種類	メーカー名	2019年生産量
H形鋼	日本製鉄	903
	JFE	433
	東京製鉄	1,142
	ヤマトスチール	436
	トピー工業	275
	日鉄スチール	204
	合同製鉄	162
	JFE条鋼	114
大形形鋼	日本製鉄	41
	JFE	177
	トピー工業	145
	大阪製鉄	128
	JFE条鋼	121
	東京製鉄	99
	ヤマトスチール	58
	合同製鉄	37
東京製鉄	9	

(単位:千トン)

種類	メーカー	2019年生産量
中小形形鋼	JFE条鋼	294
	大阪製鉄	286
	共英製鋼	159
	東京製鉄	120
	トピー工業	58
	北越メタル	26
	東京製鉄	15

出所:鉄鋼流通情報社『鉄鋼流通情報』

### 3. 材料メーカー

#### (2) 鉄筋・鉄骨メーカー

(単位:千トン)

種類	メーカー	2019年生産量
小形棒鋼	共英製鋼	1,200
	JFE条鋼	850
	東京製鋼	522
	伊藤製作所	462
	岸和田製鋼	459
	城南製鋼所	331
	大谷製鉄	322
	朝日工業	321
	中山鋼業	315
	千代田製鉄工業	297
	合同製鉄	277
	関東スチール	276
	三興製鋼	267
	大阪製鉄	265
	向山工業	254
	三星金属工業	229
	北越メタル	223

(単位:千トン)

種類	メーカー	2019年生産量
小形棒鋼	山口鋼業	217
	拓南製鉄	197
	トーカイ	152
	清水鋼鉄	151
	九州製鋼	139
	トピー工業	138
	王子製鉄	133
	東京製鉄	115
	中山製鋼所	43
	新関西製鉄	36
	日本スチール	34
	日本製鉄	12
	JFE	9
	神戸製鋼	4

出所:鉄鋼流通情報社『鉄鋼流通情報』

## 4. 建築基準法

### <建築基準法 第三十七条(建築材料の品質)>

建築物の基礎、主要構造部その他安全上、防火上又は衛生上重要である政令で定める部分に使用する木材、鋼材、コンクリートその他の建築材料として国土交通大臣が定めるもの(以下この条において「指定建築材料」という。)は、次の各号のいずれかに該当するものでなければならない。一 その品質が、指定建築材料ごとに国土交通大臣の指定する日本産業規格又は日本農林規格に適合するもの

二 前号に掲げるもののほか、指定建築材料ごとに国土交通大臣が定める安全上、防火上又は衛生上必要な品質に関する技術的基準に適合するものであることについて国土交通大臣の認定を受けたもの

## 住宅用木材・マルチマテリアルの市場環境

### <法律の改正>

2000年に建築基準法が性能規定化に向けて改正され、所定の耐火性能を満足した木構造を耐火構造として取り扱うことが可能となった。また、2010年に『公共建築物等の木材利用促進法』が施行され、2021年には、公共建築物だけではなく、一般建築物に対象が拡大された。

### <環境意識の高まり>

近年の環境意識の高まりから木材の活用が進んでいる。温室効果ガスの削減や森林資源の活用、CO2吸収源となる森林資源循環の促進、伐採した木材からのCO2の放出抑制という点から、木材を建築で活用することが重要となっている。

### <海外市場>

木材は、温室効果ガスの削減、森林資源を活用したサステナブル材料である。また、鉄やコンクリートと比較して軽量化が行える為、地震による揺れの軽減、輸送コストの低減が行えることなどから、高層建物での木材を使用したマルチマテリアルの利用が拡大している。



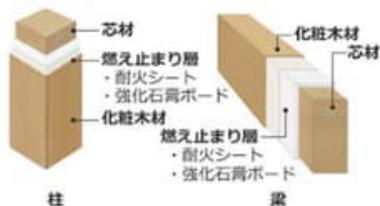
住宅インフラ分野における木材の利用が拡大



しかし、単一素材(木材)だけでは、性能(耐火性、耐震性、強度など)に限界があり、マルチマテリアルの開発・利用が拡大している。

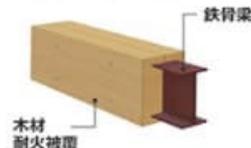
#### スリム耐火ウッド® (清水建設特許技術)

被覆材の薄さを追求した木質耐火構造部材



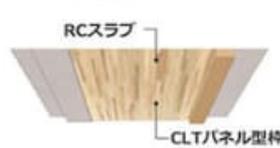
#### ハイウッドビーム®

木材を鉄骨梁の被覆兼化粧材として木質大空間を実現



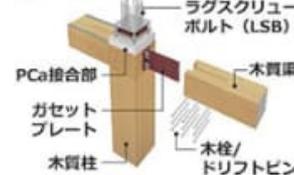
#### ハイウッドスラブ®

CLTをRCスラブの型枠兼化粧材とし、床の剛性も確保

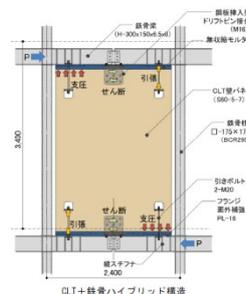


#### ハイウッドジョイント®

木質部材と鉄骨、コンクリートを接合する技術



※清水建設 特許出願中



但し、住宅構造に使用される材料は、建築基準法に適合した材料に限定される

## ＜建築物の構造部への新材料の採用＞

建築基準法 第三十七条(建築材料の品質)では、建築物の基礎、主要構造部その他安全上、防火上又は衛生上重要である政令で定める部分に使用する建築材料に関して、日本産業規格又は日本農林規格に適合するもの、国土交通大臣が定める安全上、防火上又は衛生上必要な品質に関する技術的基準に適合するものであることについて国土交通大臣の認定を受けたものと規定されている。



しかし、上記の規格の取得、認定を受けるためには、多くの試験データの提示が必要であり、1企業だけでは、コスト・時間的に負担が大きく、新材料の採用が進まない要因となっている。また、建築基準法の改正に関しても、同様に多くの試験データの提示が必要である。

なお、海外では、スプリンクラーの設置などによって木材が利用できる範囲が拡大するが、現状、日本では、火災時におけるスプリンクラーの稼働が不確実とのことから、スプリンクラーの設置によって木材の使用範囲が拡大することはない。

## 新規マルチマテリアルの利用拡大に向けて産総研に期待されること

### ＜試験データの提示＞

新素材の採用には、多くの試験データの提示が必要となる。1企業だけでは、コスト・時間的に負担が大きいことから、研究機関などの協力が望まれている。産総研がこれまでに培ってきたマルチマテリアルに関する技術力・ノウハウが必要になると見込まれる。

### ＜国プロジェクト＞

建築基準法には、国土交通省、経済産業省(日本産業規格)、農林水産省(日本農林規格)、消防庁(総務省)が、関連している。住宅インフラ用の新規マルチマテリアルの採用促進には、これらの省庁を横断したプロジェクトが必要であり、材料技術に関しては、産総研の参画が望まれる。